DIE NATURWISSENSCHAFTEN

19. Jahrgang | 10. Juli 1931 | Heft 28

Wandlungen des astronomischen Weltbildes[1].

Von H. KIENLE, Göttingen.

Am 15. November vorigen Jahres hat sich zum dreihundertsten Male der Tag gejährt, an dem JOHANNES KEPLER, mitten in den Wirren des großen Krieges, der sein Vaterland verwüstete, in Regensburg sein müdes Haupt zur letzten Ruhe bettete. In einer weihevollen Feier, die alle Teilnehmer in bleibender Erinnerung behalten werden, haben wir im September in Regensburg das Andenken des Mannes geehrt, dessen Namen wir mit den ersten Grundzügen der Lehre von der Bewegung der Himmelskörper in uns aufnahmen. Als Festgabe zu diesem Tage wurde uns eine Ausgabe der Briefe beschert, die neben dem großen Naturforscher und Künder einer neuen Astronomie den aufrechten Menschen zeichnet, der allen Nöten der Zeit zum Trotz sein Werk vollendete, getragen von dem stolzen Bewußtsein, ein Buch geschrieben zu haben, das getrost hundert Jahre auf seine Leser warten könne. In Wort und Schrift, im Inland und Ausland ist KEPLERS Bedeutung für die Begründung des neuen Weltbildes gewürdigt worden. Was bliebe mir zu sagen übrig, das nicht von Berufeneren schon ausgesprochen worden wäre?

Lassen Sie mich darum eine andere Saite anschlagen; lassen Sie mich, ausgehend von dem Gedanken, daß wir das Andenken unserer großen Toten nicht besser ehren können als dadurch, daß wir uns durch sie der Gegenwartsaufgaben bewußter werden, Ihnen zeigen, wo heute unsere Vorposten stehen in dem Kampf um die Entschleierung der Geheimnisse des Weltalls. Man braucht den Tatsachen kaum irgendwelche Gewalt anzutun, um eine gewisse Ähnlichkeit festzustellen zwischen den Umwälzungen des Weltbildes, deren Zeugen wir selbst sind, und jener großen geistigen Umstellung, welche mit den Namen KOPERNIKUS, KEPLER, NEWTON verbunden ist.

Das Maß unserer Kenntnisse von dem Bau des Weltalls ist bestimmt durch den Umfang dessen, was wir der Lichtbotschaft der Sterne abzulauschen vermögen. Dem Zugriff unserer Hände entrückt, keinem von Menschengehirnen ersonnenen willkürlichen Experiment zugänglich, ziehen die Sterne ihre Bahn, zum Teil in Fernen, für die selbst das Licht ein Schneckenbote erscheint, gemessen an der kurzen Zeitspanne, innerhalb deren menschliches Denken und Forschen sich abspielt.

Die alte Astronomie, das ist jener Teil, den wir heute im Gegensatz zur Astrophysik als Astrometrie oder als Astronomie schlechthin zu bezeichnen pflegen, erschöpft sich in der Deutung der Richtungen, aus denen das Licht zu uns kommt. Der Übergang vom scheinbaren Ort an der Himmelskugel zum wahren Ort im Raum, von der scheinbaren Bewegung zur wahren, die Beschreibung und Erklärung dieser wahren Bewegungen, das macht den wesentlichen Inhalt der Astronomie aus, die KEPLER von seinen Vorgängern übernommen und deren Ausbau und ursächliche Begründung er sich zur Aufgabe gemacht hat. Wenn er seine Neue Astronomie eine „Physik des Himmels" nennt, so ist das eben das Neue, Physikalische: die irdische Mechanik durch eine himmlische Mechanik zu ergänzen; Erde, Sonne und Sterne den gleichen allgemeinen Bewegungsgesetzen zu unterwerfen, denen die Körper auf der Erde gehorchen; ein Programm, das für zwei Jahrhunderte die größten Mathematiker in seinen Bann ziehen sollte.

Allerdings bedurfte es noch einer ganz wesentlichen Ergänzung des Lebenswerkes KEPLERS. So grundsätzlich und entscheidend die Änderung der geistigen Einstellung war, aus der die „Neue Astronomie" hervorging, wie sehr KEPLER selbst sich des unerhört Neuen bewußt war, das er der Menschheit zu bringen hatte, wie nahe er auch der Formulierung eines allgemeinen Anziehungsgesetzes kam, indem er in der Sonne den Sitz einer Kraft vermutete, welche die Planeten in ihre Bahn zwingt: es blieb hier doch noch ein unausgeschöpfter Rest übrig. Die „ursächliche Begründung" der Planetenbewegung, wie KEPLER seine Neue Astronomie im Untertitel nannte, blieb noch auf einer gewissen Stufe der bloßen Beschreibung durch die KEPLERschen Gesetze stehen. Es mußte das NEWTONsche Gesetz der allgemeinen Massenanziehung, selbst gewachsen auf dem Boden der neuen Mechanik, hinzukommen, um der himmlischen Mechanik ihre Aufgabe in der Form zu stellen, in der wir sie heute zu betrachten gewohnt sind.

Um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ist die durch KEPLER und NEWTON eingeleitete Entwicklung in einem gewissen Sinne zum Abschluß gelangt. In einer Reihe von Bänden der Pariser Annalen liegen die wesentlichen mathematischen Hilfsmittel gesammelt vor; in der Entdeckung des Neptun hat die Theorie ihren größten Triumph gefeiert, in dem unerklärten Rest der Perihelbewegung des Merkur ein Problem zur Diskussion gestellt, das den Weg weist zu einer neuen, umfassenderen Mechanik des Himmels, die eingeordnet ist in ein neues physikalisches Weltbild. Noch einmal wird um die Jahrhundertwende eine voll-

[1] Vortrag zum Gedächtnis des dreihundertsten Todestages KEPLERS im Rahmen des Außeninstituts der Technischen Hochschule in Aachen am 9. Dezember 1930.

ständige und verbesserte Darstellung der Theorie des Planetensystems durch NEWCOMB gegeben, noch einmal wird in unseren Tagen ein neuer Planet vorausgesagt und aufgefunden, auf Grund der gleichen Gedankengänge, die zur Entdeckung des Neptun geführt haben; noch immer bieten dem Scharfsinn des theoretischen Astronomen Einzelfragen, etwa in der Theorie der Kleinen Planeten, reizvolle Aufgaben dar — all dies aber ist nur folgerichtige Weiterentwicklung der jahrhundertealten Gedankengänge, ist methodisch zu werten, nicht grundsätzlich, ist zu verstehen aus der gleichen geistigen Einstellung heraus, welche KEPLER und NEWTON die Aufrichtung ihres Gebäudes ermöglichte.

Inzwischen aber hat die Astronomie längst hinausgegriffen über den engen Rahmen des Planetensystems. Die Sterne, ehedem nur die festen unveränderlichen Marken, an denen die Bewegung der Sonne, des Mondes und der Erdgeschwister sich verfolgen ließen, sind selbst Gegenstände astronomischer Forschung geworden. Messend haben wir in den letzten Jahrzehnten Entfernungen erreicht, in die noch um die Jahrhundertwende kaum kühne Spekulation vorzudringen wagte. Wieder sprechen und schreiben wir heute von einer „Physik des Himmels", doch in ganz anderem Sinne als KEPLER in seiner Neuen Astronomie. Physik erschöpft sich uns nicht mehr in Mechanik, in der Lehre von den Bewegungen der Körper. Wir entkleiden die Materie immer mehr ihres stofflichen Charakters und fühlen uns versucht zu glauben, daß wir an Grenzen rühren, wo die abstrakteste Mathematik, jene spielerische Betätigung des Menschenhirns, in eine beinahe mystische Beziehung zu den Erscheinungen der Natur rückt. Wir greifen an die Grenzen von Raum und Zeit und versuchen die Natur des Kosmos zu ergründen abseits von jeder landläufigen Anschaulichkeit. Wir dringen ein in das Innere der Sterne und versuchen Welten aufzubauen aus dem Wechselspiel der Protonen, Elektronen und Energiequanten.

Spürt man einmal den Gründen etwas nach, welche der Entwicklung des astronomischen Weltbildes die Hauptschwierigkeiten bereiteten und immer wieder bereiten, so wird man davon ausgehen, daß wir die Gewinnung eines *objektiven* Weltbildes anstreben, objektiv in dem Sinne, daß es losgelöst ist von dem speziellen Beobachter. Zwar unterscheidet sich hier die Astronomie im Prinzip nicht von allen anderen Naturwissenschaften; aber die Folgen unseres „erdgebundenen" Standpunktes machen sich hier in besonderem Ausmaße geltend. Wie schwer ist der Menschheit nicht jene erste Abstraktion geworden, zu der noch heute jedes Kind sich neu durchringen muß: der Übergang von dem einfachen Scheinbilde der Erdscheibe mit der darüber gestülpten Himmelsglocke zu der Vorstellung einer frei im Raume schwebenden Kugel. Mit welchen Widerständen hatten KOPERNIKUS und seine Anhänger zu kämpfen bei dem nächsten wesentlichen Schritt: der Verlegung des Mittelpunktes der „Welt" von der Erde in die Sonne. Heute erleben wir neue Zweifel und Verschiedenheiten der Meinungen darüber, wie denn die inzwischen so sehr viel größer gewordene Welt wirklich aussehe und welches der Ort unserer Sonne in ihr sei.

Wir sind zweifelsüchtiger geworden und fühlen uns immer dann zu besonderer Vorsicht ermahnt, wenn die Beobachtungen uns selbst eine ausgezeichnete Rolle zuzuschreiben scheinen, wenn sie uns auf irgendeine Weise in den Mittelpunkt der Welt rücken. Und so suchen wir gerade heute wieder nach einem neuen Zentrum, nachdem wir erkennen mußten, daß das System, nahe dessen Mittelpunkt wir uns bis vor kurzem glaubten, das „Milchstraßensystem" der klassischen Stellarastronomie, selbst wieder ein Teil irgendeines höheren Systems ist.

Wenn es gestattet ist, durch ein Bild die Lage zu kennzeichnen, so könnte man den Astronomen einem Manne vergleichen, der von dem Schaukelpferd eines Karussells aus eine Vorstellung gewinnen soll von der Welt außerhalb dieses Karussells, die scheinbar in wunderlichen Kurven und Schwingungen um ihn herumtanzt. Daß wir mitten drin stehen in dem Wirbel kosmischen Geschehens und uns nicht begnügen wollen mit der bloßen Beschreibung dessen, was wir sehen, sondern darüber hinausstreben zu einem Punkt, der uns die Welt irgendwie „von außen" zu betrachten gestattet, das ist der ewig gleiche Zug in dem Bemühen des KOPERNIKUS und KEPLER wie in dem unserer Tage.

Wodurch aber ist der große Fortschritt bedingt, den wir erzielt zu haben glauben gegenüber dem Weltbild der angehenden Neuzeit? Dafür lassen sich zwei Wurzeln angeben. Auf der einen Seite die Entwicklung der Instrumente und der Beobachtungskunst, die eine so gewaltige Erweiterung unseres Gesichtskreises, der Zahl und Art kosmischer Gebilde und ihrer beobachtbaren Eigenschaften mit sich gebracht haben. Auf der anderen Seite die Entwicklung der übrigen Naturwissenschaften, die uns neue Deutungsmöglichkeiten für die Lichtbotschaft der Sterne gegeben haben. Die Milchstraße hat sich uns aufgelöst in ein Heer mehr oder weniger zu Wolken zusammengeballter Sterne, Sternhaufen, heller und dunkler Nebel. Darüber hinaus haben die größten Instrumente der letzten Jahrzehnte eine fast unübersehbare Fülle von Objekten in den Bereich der Beobachtungen gerückt, die wir heute als außergalaktische zu bezeichnen pflegen.

Neben den Richtungen, aus denen das Licht der Sterne zu uns kommt, haben wir seine Intensität messen und aus ihr und ihren Veränderungen die weitgehendsten Schlüsse auf die Entfernung und die Natur der Sterne ziehen gelernt. Wir zerlegen weiter das Licht in seine spektralen Bestandteile und erleben gerade im Augenblick eine nahezu stürmische Entwicklung in der Deutung dieser

Runenschrift, die vor knapp einem Jahrhundert begann mit der Ableitung der Radialgeschwindigkeiten nach dem DOPPLERschen Prinzip und der Untersuchung der Zusammensetzung kosmischer Materie mit Hilfe der KIRCHHOFF-BUNSENschen Spektralanalyse; die heute die Frage stellt und beantwortet nach der allgemeinen Struktur des Raumes und aus der Theorie der Atome und ihrer Wechselwirkungen die Gesamtheit der Erscheinungsformen der Materie abzuleiten sich erkühnt. Dabei kann es nicht ausbleiben, daß alte Lösungen sich als unzureichend oder überhaupt falsch erweisen, daß uns vertraut gewordene Bilder fallen gelassen werden müssen; ein Vorgang, den, so lange wir noch mitten drin stehen, die einen mit Bedauern verfolgen oder sich ihm entgegenstellen, während die anderen im Vertrauen auf die Tragkraft gesunder Entwicklungskräfte in dem scheinbaren Zusammenbruch von heute bereits das Glück des besseren Morgen erleben.

Lassen Sie mich nun, ohne zu sehr auf Einzelheiten einzugehen, mit ein paar Streiflichtern den gegenwärtigen Umwandlungsprozeß des astronomischen Weltbildes etwas beleuchten und mit einem Vergleich beginnen. Es gab eine Zeit, da wir das uns zugewandte Antlitz des Mondes besser kannten als die Oberfläche unserer Erde. Weil wir den Mond als Ganzes von außen betrachten und durch die Kraft unserer Fernrohre so nahe rücken konnten, daß Einzelheiten von wenigen Hundert Metern Ausdehnung der Beobachtung zugänglich waren; während vor der Zusammenwirkung von Flugzeug und Photographie alle Hindernisse, die unser Fuß bei dem Vordringen auf der Erde fand, auch solche für das Auge waren. Ganz ähnlich so fühlen wir uns heute versucht zu sagen: Wir wissen über den Bau der großen Spiralnebel, wie etwa des Andromedanebels, die in Entfernungen von der Größenordnung einer Million Lichtjahre liegen, besser Bescheid als über das sog. Milchstraßensystem, das wir unsere engere Heimat nennen.

Vor anderthalb Jahrhunderten entwarf W. HERSCHEL, der Begründer der eigentlichen Stellarastronomie, zum ersten Male ein nicht rein spekulatives, sondern auf vernünftige Deutung von Beobachtungen gestütztes Bild des Milchstraßensystems. Ein Bild, das in seinen wesentlichen Zügen sich bis in die jüngste Zeit hinein erhalten hat. Der Ausbau der von HERSCHEL eingeführten statistischen Methode führte zu der Problemstellung, das Milchstraßensystem durch zwei Funktionen zu beschreiben: die räumliche Dichteverteilung der Sterne und die Verteilung ihrer absoluten Leuchtkräfte.

Statistik muß notwendigerweise glätten, Einzelheiten verwischen, um das Wesentliche einer Erscheinung herauszuholen. Dabei kann sie unter Umständen falsche Wege gehen, indem sie die Bedeutung von Einzelheiten unterschätzt, an falschen Stellen glättet und verwischt. Und das gerade scheint der klassischen Stellarastronomie, die mit den Namen SEELIGER und KAPTEYN, SCHWARZSCHILD und CHARLIER verknüpft ist, begegnet zu sein. Sie suchte ein Bild von dem typischen Sternsystem zu entwerfen, indem sie die räumliche Dichteverteilung nur als Funktion der Entfernung und symmetrisch zur Ebene der Milchstraße, die Verteilungsfunktion der absoluten Leuchtkräfte als die gleiche für das ganze System ansetzte. Sie zeichnete uns zuletzt dieses Bild als das eines ungefähr linsenförmigen Systems von etwa 20000 Lichtjahren Durchmesser in der Richtung der Milchstraße und 4000 senkrecht dazu; mit einer Gesamtanzahl von rund 50 Milliarden Sternen, deren Leuchtkräfte den weiten Bereich von einem Zehntausendstel der Sonnenhelligkeit bis zum Zehntausendfachen überdecken, mit einem Maximum in der Gegend von einem Zehntel. Der Ort unserer Sonne sollte in unmittelbarer Nähe des Zentrums dieses Systems zu suchen sein.

Dieses klassische Bild stützte sich einzig und allein auf die scheinbare Verteilung der Einzelsterne am Himmel. Auf die Ungleichförmigkeiten längs der Milchstraße, die Zusammenballungen in Wolken und Sternhaufen, nahm es zunächst keine Rücksicht. Vor allem aber hatte man bei der Anwendung der statistischen Methoden auch vorausgesetzt und sich zu glauben bemüht, daß die möglicherweise vorhandene nicht leuchtende Materie das Bild nicht merklich fälschen könne. Man betrachtete das typische System als eine erste und sehr weitgehende Annäherung an die Wirklichkeit und versuchte in der Folgezeit die Annäherung weiterzutreiben durch Einordnung der Einzeluntersuchungen über lokale Unregelmäßigkeiten der Verteilung. Da aber bekam das ganze Gebäude einen unerwarteten Stoß, unter dessen Einwirkung es in Trümmer fiel, die wir uns eben bemühen, wieder zu einem Ganzen zusammenzufügen.

Die Bestimmung der Entfernungen der kugelförmigen Sternhaufen führte zu dem „größeren galaktischen System", dessen Ausdehnung sich gegenüber dem alten verzehnfachte. Die Milchstraßenwolken wachsen sich zu immer größeren selbständigen Gebilden aus; dunkle Wolken und die durch sie hervorgerufenen Abschwächungen des Sternlichtes gewinnen mehr und mehr an Bedeutung; die Sonne ist mit einem Male wieder ihrer Sonderstellung nahe dem Mittelpunkt eines Systems entkleidet und wir finden uns mit ihr irgendwo hart an dem Rand des größeren Systems wieder. In dem „local cluster" bemühen manche sich etwas von den liebgewordenen Vorstellungen in die neue Zeit hinüberzuretten. Vergeblich: das galaktische System der klassischen Stellarastronomie ist zu groß, um als eine Annäherung an den fragwürdigen local cluster gelten zu können, zu klein und nach einer falschen Richtung hin typisiert, um daraus das größere galaktische System abzuleiten. Wir müssen eingestehen, daß wir gegenwärtig vor einem Chaos stehen und daß wir ganz langsam versuchen müssen, ein neues Bild aufzubauen unter

gänzlichem Verzicht oder doch starker Abwandlung der Methoden, die unsere Lehrer uns gelehrt haben.

Ein erster Versuch zu neuem Aufbau, gewissermaßen von außen her unternommen, hat neue Schwierigkeiten und Zweifel gebracht. Die Spiralnebel haben schon die ersten Entdecker zu Analogieschlüssen herausgefordert. Einer frühen spekulativen Kosmogonie galten sie als Vorstufen der Entwicklung von Planetensystemen, Abbilder der Vorgeschichte unseres eigenen Sonnensystems. Eine spätere Phase sah sie als Milchstraßensysteme an und baute aus ihnen Systeme höherer Ordnung auf. Heute gehört die Vorstellung, daß Gebilde wie der Andromedanebel Sternsysteme größten Ausmaßes sind, zum gesicherten Bestand astronomischen Wissens, vermuten wir mit einiger Berechtigung, daß die Ansammlungen kleiner und kleinster elliptischer Nebel in den „Nebelnestern" am Pol der Milchstraße, in der Gegend des Großen Bären, die gesuchten Systeme höherer Ordnung darstellen.

Hier nun liegt die neue Schwierigkeit, auf die eben hingewiesen wurde: das größere galaktische System will in dem Ausmaße, in dem wir es zu betrachten uns bereits gewöhnt haben, nicht so recht in den neuen Rahmen hineinpassen. Es ist wesentlich größer als die größten außergalaktischen Systeme, deren Dimensionen genauer bekannt sind, der Andromedanebel und der große Nebel Messier 33 im Triangulus. In einer Zeit des Neubaus und des Umbaus nimmt man es leicht etwas weniger genau mit dem Aufstellen neuer Hypothesen. So will denn der Pionier des größeren galaktischen Systems, SHAPLEY, dieses System bereits eine Stufe höher einordnen, in die Reihe der „supergalaxies". Wir sollen uns an einer Stelle des Raumes befinden, wo mehrere der Gebilde von der Art des Andromedanebels, also mehrere „Milchstraßensysteme" sich durchdringen.

Ob wir so weit folgen dürfen? Es ist reichlich schwankender Boden, den wir da betreten, und es könnte sein, daß wir eines Tages eine bittere Enttäuschung erlebten, wenn wir diesen Spekulationen zu großes Vertrauen entgegenbringen. Denn darüber müssen wir uns klar sein: Hier ist nichts, aber auch gar nichts durch Beobachtungen von auch nur einiger Zuverlässigkeit gesichert. Es mehren sich eher die Stimmen, die darauf hinweisen, daß wir bei der Vergrößerung des galaktischen Systems etwas über das Ziel hinausgeschossen seien, daß wir all die in den letzten Jahren aus photometrischen Daten abgeleiteten Entfernungen erheblich verkleinern müssen. Die andere der erwähnten Vereinfachungen der klassischen Stellarastronomie hat sich als unzulässig erwiesen: die Annahme der optischen Reinheit des Raumes zwischen den Sternen, die Vernachlässigung der Absorption des Sternenlichtes durch ein interstellares Medium. Als drohendes Gespenst taucht diese Absorption überall da auf, wo eine Beziehung zwischen Helligkeit und Entfernung in die Theorie eingeht. Absorptionskoeffizienten von einem kaum vorstellbar kleinen Betrag können sich bei den großen Wegstrecken, die das Licht zurückzulegen hat, noch sehr unliebsam auswirken und das Bild, das wir von unserem Sternsystem entwerfen, bis zur Unkenntlichkeit entstellen.

Man beruhigte sich gewöhnlich mit dem Nachweis, der übrigens stets nur ein Indizienbeweis war, daß keine *allgemeine* Absorption statthabe, daß der interstellare Raum nicht *gleichmäßig* von einem absorbierenden Medium erfüllt sei, daß wir vielmehr nur mit der Wirkung lokaler Ansammlungen dunkler Materie zu rechnen haben. Aber wie, wenn allmählich überall solche dunklen Wolken festgestellt werden? Wenn TRÜMPLER, dem wir den ersten spektralphotometrischen Nachweis einer Schwächung des Sternenlichtes um mindestens 20% auf eine Strecke von 1000 Lichtjahren verdanken, schreibt: „Nach meinen bisherigen Resultaten zu schließen, ist die Verteilung der absorbierenden Massen vielleicht so unregelmäßig wie die Verteilung der Sterne selbst?" Wie viele von denen, die noch vor knapp 10 Jahren über die HAGENschen Dunkelwolken lächelten, haben heute bereits die Wandlung vom Saulus zum Paulus vollzogen?

Wir werden gut daran tun, gerade dieser Frage in der nächsten Zeit die allergrößte Aufmerksamkeit zu schenken und das Schmieden neuer Hypothesen ein wenig zurückzustellen, um nicht das Vertrauen, das wir unseren Ergebnissen entgegengebracht wissen wollen, auf eine zu harte Probe zu stellen. Wir haben heute Methoden zur Verfügung, um der Frage der interstellaren Absorption wirklich messend zu Leibe zu rücken, durch die photometrische Analyse der Spektra. Nützen wir sie und warten wir ein wenig, bis sie uns einen ersten Überblick über die Verteilung und die Stärke der Absorption dieser Wolken ermöglichen. Theorien und Hypothesen sind notwendig, um der Forschung Wege zu weisen; aber sie müssen das richtige Maß zu halten wissen zwischen dem, was not tut und dem Stand der Beobachtungen entspricht, und dem, was vorausschauende Spekulation gern als „wahr" erkannt wissen möchte.

Der gleiche W. HERSCHEL, der das erste Bild von der räumlichen Anordnung des Milchstraßensystems entwarf, hat auch die Richtung gewiesen, in der sich die Untersuchungen über den dynamischen Zustand dieses Systems in der Folgezeit bewegten. Er hat die Frage aufgeworfen nach dem Apex, dem Zielpunkt der Sonnenbewegung, und hat aus dem spärlichen Material, das ihm zur Verfügung stand, den Schluß gezogen, daß dieser Zielpunkt in der Gegend des Herkules oder der Leyer zu suchen sei. Es besteht ein weitgehender Parallelismus zwischen der Entwicklung der Vorstellungen von der räumlichen Anordnung des Milchstraßensystems und der Theorien über seinen Bewegungszustand. Hier wie dort ging man von vereinfachenden, schematisierenden Annahmen aus und kam so zunächst zu der Hypothese von der regellosen Verteilung der Sternbewegungen im

Milchstraßensystem nach Größe und Richtung. Dem Bilde des typischen Sternsystems mit seiner Symmetrie zur Milchstraßenebene stellte sich zu Beginn unseres Jahrhunderts das entsprechende andere zur Seite, das in der gleichen Milchstraßenebene auch eine Vorzugsrichtung der Sternbewegungen sah. In der Zweischwarmtheorie KAPTEYNS und der Ellipsoidtheorie SCHWARZSCHILDS standen zwei verschiedene Ausdeutungen der gleichen Erscheinung sich gegenüber. Begraben in einer wenig gelesenen Zeitschrift ruhte eine zur Unzeit aufgestellte Hypothese, die heute, ein halbes Jahrhundert nach ihrer Geburt, zu neuem Leben erwacht ist: die von GYLDÉN aus unzureichendem Beobachtungsmaterial abgeleitete Rotation um ein weit ab von der Sonne gelegenes Zentrum.

So lange die räumliche Verteilung der Sterne in der näheren Umgebung der Sonne das typische Bild des ganzen Milchstraßensystems bestimmte und die Sonne ihren Platz nahe dem Mittelpunkt des Systems behauptete, waren auch die Bewegungsverhältnisse dieser gleichen Sterne in erster Linie maßgebend für die Vorstellungen von dem Bewegungszustand des Systems. In dem gleichen Maße, in dem das Milchstraßensystem in Einzelgruppen zerfiel und in einem größeren galaktischen System aufging, traten Gruppen mit Sonderbewegungen in den Vordergrund, wurde der Boden bereitet für eine neue Dynamik, innerhalb deren die Vorzugsrichtungen, die einst das Wesentliche schienen, zur Angelegenheit eines engen Teilbereiches umgedeutet wurden.

Hier wie dort verwirrte das Bild sich zunächst durch die Fülle der Neuentdeckungen, die sich nur schwer einordnen ließen. Hier wie dort sind wir eben dabei, umzudeuten und umzulernen auf Grund einer Neuordnung der Dinge. Noch wissen wir nicht, welche der neu aufgestellten Hypothesen den Sieg davontragen wird; wie wir nicht wissen, wie das Bild von der räumlichen Anordnung des größeren galaktischen Systems schließlich aussehen wird. Eins aber ist allen diesen Theorien gemeinsam, ob sie nun eine Rotation im ganzen, nach dem Vorgange GYLDÉNS, oder in Teilen, nach LINDBLAD-OORT, oder Umläufe einzelner Gruppen in langgestreckten elliptischen Bahnen, nach FREUNDLICH-v. D. PAHLEN, annehmen: Das Zentrum der Bewegung liegt in der gleichen Richtung, in der wir nach SHAPLEY den Massenmittelpunkt des größeren galaktischen Systems zu suchen haben (in der Milchstraßenwolke im Sagittarius), und das Teilsystem, dem unsere Sonne angehört, befindet sich weit ab von diesem Mittelpunkt, irgendwo am Rande.

Die klassische Himmelmechanik sah ihr Endziel darin, alle Bewegungen zu erklären nur unter Voraussetzung des NEWTONschen Gesetzes der allgemeinen Massenanziehung. Sie hat dieses Ziel in vollkommener Weise erreicht in der Theorie des Planetensystems, mit alleiniger Ausnahme des durch sie unerklärt gebliebenen Restes in der Bewegung des Merkurperihels. Sie konnte auf ihre Erfolge hinweisen bei der Erklärung der Bewegungen in Doppel- und mehrfachen Sternsystemen, die zur Auffindung unsichtbarer Massen geführt haben. Sie stieß auf ernste Schwierigkeiten erst bei den Versuchen, ihren Anwendungsbereich auf das Sternsystem oder die Welt als Ganzes zu erweitern.

Es ist eines der klassischen Unendlichkeitsprobleme: ob in einer unendlich ausgedehnten und mit durchschnittlich endlicher Dichte erfüllten Welt dem NEWTONschen Gravitationsgesetz unbeschränkte Gültigkeit zugesprochen werden könne, ohne daß wir in Widerspruch gerieten mit den Beobachtungen über die Geschwindigkeiten der Sterne. Es ist eine Frage, die mehrfach gestellt und zu beantworten versucht wurde: ob die Sternhaufen in der uns bekannten, ganz spezifischen Struktur als stationäre Gebilde möglich seien, wenn nur NEWTONsche Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Sternen bestehen? Und es ist, um noch ein weiteres zu nennen, eine brennende Frage: was es denn für eine Bewandtnis habe mit den scheinbaren Radialgeschwindigkeiten von Tausenden von Kilometern, die wir den außergalaktischen Nebeln auf Grund der Linienverschiebungen im Spektrum zuschreiben müssen?

Wir wissen heute, daß wir das NEWTONsche Gravitationsgesetz nur als eine erste Annäherung an die Wirklichkeit ansehen dürfen, daß wir vor der Aufgabe stehen, eine neue Himmelsmechanik aufzubauen auf der Grundlage, die durch die allgemeine Relativitätstheorie geschaffen wurde. Innerhalb des Planetensystems sind die Wirkungen der neuen Theorie allerdings kaum zu spüren. Sie reichen gerade so weit, um in der Erklärung des Restgliedes der Merkurperihelbewegung zugleich ein Rätsel zu lösen und einen Beweis für die Brauchbarkeit der neuen Lehre zu erbringen. Größere Erfolge durften wir erhoffen und zum Teil bereits erleben, wenn die Folgerungen aus der Relativitätstheorie für größere Räume, für die Welt als Ganzes gezogen wurden. EINSTEIN selbst hat zuerst solche Folgerungen gezogen und eine Vorstellung zu geben versucht von der Struktur des vierdimensionalen Gebildes, das wir seit MINKOWSKI die „Welt" nennen. DE SITTER hat eine andere Lösung vorgeschlagen, und LEMAÎTRE glaubt heute die Synthese geben zu können, die den von den Astronomen beobachteten Verhältnissen am besten gerecht wird.

Das Bestrickendste an dieser neuesten Entwicklung ist, daß sie dem Astronomen auf der einen Seite die Lösung des Rätsels bringt, das die Radialgeschwindigkeiten der außergalaktischen Nebel aufgegeben haben, auf der anderen ihm die Möglichkeit eröffnet, die Ergründung der Struktur des Raum-Zeit-Kontinuums in den Bereich seiner Aufgaben einzubeziehen mit der Aussicht, zu wirklich wesentlichen Aussagen darüber zu gelangen. Die Radialgeschwindigkeiten der Spiralnebel weisen gerade die eine Eigentümlichkeit auf, von der wir oben sagten, sie errege unseren Verdacht: sie sind alle von uns weggerichtet. Wir be-

finden uns scheinbar im Mittelpunkt einer von uns aus nach allen Seiten auseinanderstrebenden Welt. Gerade bei unserer heutigen Kenntnis von der Stellung der Sonne innerhalb des größeren galaktischen Systems, und unseren Anschauungen über die Natur der Spiralnebel als außergalaktische Systeme muß es als im höchsten Maße unwahrscheinlich gelten, daß den ausgezeichneten Radialgeschwindigkeiten derselbe Grad von Realität als Bewegungen zukomme wie den Radialgeschwindigkeiten der Sterne unseres engeren Sternsystems.

Nehmen wir noch hinzu, daß die Größe der scheinbar von uns weggerichteten Geschwindigkeit zunimmt mit der Entfernung der Objekte von uns, daß die uns nächsten Spiralnebel Radialgeschwindigkeiten von einigen Hundert Kilometern in der Sekunde haben, während die größte Geschwindigkeit für das entfernteste bisher gemessene Objekt fast 12000 km/sec. erreicht, dann begreifen wir die hohe Bedeutung, welche den Folgerungen aus LEMAÎTRES Kosmologie zukommt. Denn diese lauten gerade so, wie der empirische Befund an den außergalaktischen Nebeln sie uns nahelegt: von jedem anderen Beobachtungsstandpunkt aus würden wir die gleichen mit der Entfernung vom Beobachter zunehmenden Radialgeschwindigkeiten, d. h. eine radiale Expansion der Welt, feststellen. Die beobachtete Geschwindigkeit der Expansion und die mittlere Massendichte bestimmt unmittelbar die „Größe", den augenblicklichen Radius der Welt.

Die Folgerungen aus einer durch die neue Gravitationstheorie nahegelegten Erweiterung der POISSONschen Gleichung für den Bau der Sternhaufen sind von HECKMANN und SIEDENTOPF gezogen worden. Auch hier nur ein erster Ansatz zu einer näherungsweisen Lösung; und doch dieser Ansatz bedeutsam in dem völlig unerwarteten Zusammentreffen seiner Folgerungen mit gewissen Beobachtungsergebnissen. Die Theorie läßt Sternhaufen von endlicher Gesamtmasse als stationäre Gebilde möglich erscheinen, wenn sie eingebettet sind in ein Feld von Sternen mit endlicher Dichte. Sie führt auf ein Dichtegesetz, das sich dem bei den Sternhaufen beobachteten mit beliebiger Genauigkeit anpaßt. Am Rande des Haufens geht die theoretische Dichte aber nicht asymptotisch in die des Feldes über, sondern sie sinkt zunächst etwas unter die Felddichte, läuft in eine Welle aus. Die Haufen müßten also, nach der Theorie, von einer sternarmen Zone umgeben erscheinen, unmerklich bei Haufen mit starker zentraler Verdichtung, eben beobachtbar bei den wenig konzentrierten offenen Haufen. Auf solche sternarmen Ringe um lose offene Haufen ist man aber gerade seit einiger Zeit aufmerksam geworden, und es konnte, wenigstens in einem Fall, der Nachweis erbracht werden, daß es sich nicht um absorbierende Materie handeln kann, sondern daß in dieser Zone die Sterne wirklich fehlen. Das ist das eine unerwartete Zusammentreffen der Theorie mit der Beobachtung.

Die relative Konzentration eines Haufens gegenüber seiner Umgebung hängt, nach der Theorie, ab von der Dichte des Feldes, in das er eingebettet ist: stark konzentrierte Kugelhaufen entstehen in relativ dünnen Feldern, offene Haufen in dichten Feldern. Wir beobachten in der Tat die offenen Haufen in den sternreichsten Milchstraßenfeldern, während die Kugelhaufen gerade diese Zone meiden. Nach der Theorie ist entsprechend die absolute Dichte, d. h. die gesamte Anzahl der Sterne in der Volumeinheit, für Kugelhaufen und offene Haufen von der gleichen Größenordnung; nur die relative Anzahl von Haufensternen und Feldsternen ist für beide verschieden. Genau zu dem gleichen Schluß wurde gleichzeitig und unabhängig von der Theorie TRÜMPLER geführt, durch seine Beobachtungen über die Verteilung der Sterne in den offenen Haufen.

Es ist hier nicht der Ort, um in Spekulationen sich zu verlieren, und wir dürfen nicht allzu großes Gewicht legen auf die Übereinstimmungen zwischen Theorie und Beobachtung, weder im Fall der außergalaktischen Nebel noch in dem der Sternhaufen. Wir wollen nur eins festhalten, indem wir uns an den Ausgangspunkt unserer Überlegungen erinnern: daß wir Parallelen ziehen können zwischen den Umformungen des Weltbildes zu KEPLERS Zeiten und in unseren Tagen. Wir glauben gewisse neue „KEPLERsche Gesetze" zu besitzen, und geben uns der Hoffnung hin, daß ein neuer „NEWTON" unter uns lebe, der uns die wahre „ursächliche Begründung" dieser KEPLERschen Gesetze bringen wird.

Wir kehren zurück aus den Fernen, von denen aus wir die Arme ausstreckten, um die Schleier von dem Geheimnis, das Raum und Zeit umgibt, zu lüften, und begeben uns auf einen Schauplatz, an dem mehr denn je der Streit der Meinungen tobt. Wir stellen eine beunruhigende Unsicherheit in der Geltung alter und neuer Werte fest, mit um so größerem Bedauern, je mehr wir in dem Wahn gelebt haben, daß wir wüßten, was denn ein Stern sei. Noch vor wenigen Jahren schien alles so schön. Wir glaubten mit EDDINGTON, daß das Verhältnis von Strahlungs- und Gasdruck die Zusammenballung kosmischer Materie zu leuchtenden Sternen regle; verhindere, daß Sterne mit zu großer Masse sich bildeten, solche mit zu kleiner Masse leuchtend in Erscheinung treten. Die Annahmen über den Zustand der Materie im Innern schienen zwingend, als aus ihnen der universelle Zusammenhang zwischen Masse, Leuchtkraft und Temperatur sich ergab, der durch die Beobachtungen eine so ausgezeichnete Bestätigung fand. Wir glaubten den Schlüssel zur Entwicklungsgeschichte der Sterne in Händen zu haben, als die Umsetzung von Materie in Strahlung eine Energiequelle erschloß, ergiebig genug, um die Forderungen nach einer weiten kosmogonischen Zeitskala zu erfüllen. Das alles soll falsch sein? So gründlich falsch, daß wir, nach MILNE, ganz von vorne anfangen, vollkommen

neu aufbauen müssen, weil das alte Bild auch nicht eine erste Annäherung an die Wirklichkeit sei?

Es ist wahr, für den aufmerksamen Beobachter war das Bild nicht so schön und makellos, wie ich es eben gezeichnet habe. Es waren da einige schwache Punkte, an denen die Kritik einsetzen mußte und die schließlich das ganze Gebäude einstürzen ließen. Da waren von Anfang an die hypothetischen Energiequellen im Innern der Sterne, welche die Theorie einfach als vorhanden annahm, ohne über ihre wahre Natur Rechenschaft ablegen zu können. Hier stieß die Theorie denn auch von Anfang an auf den Widerstand der Physiker, die sagten: „Umsetzung der Materie in Strahlung? Spontaner Ab- und Aufbau der Atome? Ja! Aber nicht bei den Temperaturen von nur 40 Millionen Grad, auf die Eure Theorie im Innern der Sterne führt."

Dann war da weiter jene merkwürdige Verteilung der in der Natur verwirklichten Sternzustände, die sich in dem „Russell-Diagramm" ausdrückt und kurz so beschrieben werden kann: Für das große Heer der Sterne (die Sterne der „Hauptreihe") sind Temperatur und Leuchtkraft einander eindeutig zugeordnet. RUSSELL mußte, um dieser Tatsache gerecht zu werden, dem EDDINGTONschen Stern einen kleinen deus ex machina beigesellen, der ihn durch geschickte Erschließung der inneren Energiequellen auf der richtigen Temperatur hielt. JEANS schuf seine flüssigen Sterne und verblüffte durch eine Darstellung der Besonderheiten des RUSSELL-Diagramms bis in die feinsten Einzelheiten. Aber die Grundlagen seiner Theorie hielten der Kritik nicht stand, und das von ihm benutzte RUSSELL-Diagramm bietet Zweifeln an seiner statistischen Echtheit reichlich Anhaltspunkte.

Als gar VOGT zeigen konnte, daß die dem Strahlungsdruck zugeschriebene Rolle auf einem rein gefühlsmäßigen Fehlschluß beruhte und daß man das „Massen-Helligkeits-Gesetz" unter sehr viel allgemeineren Voraussetzungen über den Aufbau der Sterne erhält, büßten zwei starke Stützen der EDDINGTONschen Theorie ihre Tragkraft ein. Fügt man hinzu das auch von EDDINGTON selbst empfundene Dilemma, auf das die Riesen-Zwerg-Theorie der Sternentwicklung bei den Sternhaufen stieß, und die Existenz der von der Theorie überhaupt nicht erfaßbaren weißen Zwerge, so erkennt man, daß der Boden bereits gründlich vorbereitet war für den Generalangriff, den MILNE gegen das ganze Gebäude eröffnete und mit steigender Heftigkeit in unseren Tagen vorträgt.

Wir können das Ende des Kampfes noch nicht absehen, wissen noch nicht zu sagen, was von den alten Vorstellungen bleiben wird und wo auch die neue Theorie versagt. Will man den Gegensatz auf eine knappe Formel bringen, so kann das etwa in der Weise geschehen: EDDINGTON baute die Sterne auf unter mehr oder weniger plausiblen, aus irdischen Erfahrungen gewonnenen allgemeinen Voraussetzungen über den Zustand der Materie im Innern. Seine Theorie gilt nicht für die äußeren, der Beobachtung zugänglichen Schichten, deren Zustand sich einrichtet nach der aus dem Innern kommenden Strahlung. MILNE dagegen versucht die Sterne von außen her aufzubauen, ausgehend von dem Gedanken, daß gerade die Vorgänge in den äußeren Schichten das Wesentliche sind für die Energiebilanz der Sterne. Er wird dabei rein formal auf eine Singularität im Mittelpunkt geführt, die er aber unbedenklich in Kauf nimmt und physikalisch einfach dahin interpretiert, daß im innersten Kern der Sterne ähnliche Verhältnisse von Druck, Temperatur und Dichte herrschen, wie sie uns von den weißen Zwergen her bekannt sind. Das Bedeutsame an der neuen Theorie ist, daß sie damit eine Stelle im Sterninnern angibt, wo Verhältnisse herrschen, bei denen der Physiker dem Astronomen die freie Umwandlung der Elemente und die vollständige Umwandlung von Materie in Strahlung zugestehen kann.

Ich habe mich damit begnügen müssen, mit einigen Streiflichtern die Umbildungen zu beleuchten, in denen unsere Anschauungen über den Bau der Welt und der Sterne gegenwärtig begriffen sind; habe nur andeuten können, wo mancher gerne ausführlicher unterrichtet sein möchte; habe vielleicht meinen subjektiven Eindruck mehr in den Vordergrund gestellt, als mancher Fachgenosse billigen würde. Ich wollte nicht feste, gültige Werte übermitteln, weil es mir deren im Augenblick nur wenige zu geben scheint; aber ich möchte auch nicht übertriebenes Mißtrauen in die Ergebnisse der astronomischen Beobachtung und Theorie setzen. Ich wollte nur an einigen wesentlichen Stellen die Parallele durchführen, die besteht zwischen der geistigen Struktur der Epoche, in der KEPLER sein Lebenswerk schrieb, und der unserer Zeit. Wir leben in einem Übergang und schöpfen gerade aus diesem Bewußtsein die Überzeugung, daß starke Kräfte wirksam sind, daß frisches Leben in der Astronomie, dieser ältesten Wissenschaft der Menschheit pulsiert, daß es eine Lust ist zu leben und teilzuhaben an dem Aufbau eines neuen Weltbildes.

Das morphologische Hauptproblem der Libyschen Wüste.

Von RICHARD UHDEN, Braunschweig.

Das Auftreten abflußloser Hohlformen bedeutet eine für fast alle Wüstengebiete der Erde charakteristische Erscheinung. Wo infolge des Trockenklimas die talbildenden Kräfte nicht ausreichen, um eine durchgreifende und einheitliche Abdachung zum Meeresspiegel hin zu schaffen, da kann offenbar die Wahrnehmung nicht befremden, daß die Landoberfläche in eine Vielzahl zusammen-

hangloser Entwässerungs- und Abtragungsbezirke von ungleichem Ausmaß und verschiedener Höhenlage zerfällt. Die ursprüngliche strukturelle Anlage der geschlossenen Senken stellt auch in den meisten Wüsten keine erheblichen Probleme, insbesondere dort nicht, wo sich in Faltung, Bruchbildung oder Abdämmung durch Schuttmassen die primären Ursachen der Beckenformung ohne Schwierigkeit zu erkennen geben. Sehr viel verwickelter liegen die Dinge bei den Depressionen der Libyschen Wüste — gerade trotz ihres außerordentlich einfachen geologischen Baues.

Die weite Wüstenfläche westlich vom nubischen und ägyptischen Niltal bis an das Gebirgsland von Tibesti und bis zur Küste der Cyrenaika ist mit sehr geringen Ausnahmen ein Gebiet der Flachschichtung, von dem als geologisch älteste Formation kretazische Sedimente, in der Hauptsache Nubischer Sandstein, und in einer nur schmalen nördlichen Randzone Obere Kreide (Kalke, Mergel usw.), etwa zwei Drittel des Raumes, den Süden und die Mitte einnehmen. Nordwärts einer vielfach gebuchteten Linie von Luksor am Nil bis zum innersten Winkel der Großen Syrte breiten sich, gleichfalls in schwebender Lagerung, Schichttafeln tertiären Alters aus, vielfach von Dünengelände verhüllt, im Süden mit eozänem Kalkstein anhebend und an der Mittelmeerküste mit pliozänen Ablagerungen endend. Im ganzen betrachtet, bieten sich hier mit der schüsselförmigen Überlagerung des afrizidischen Grundgebirges durch eine lückenlose Formationsreihe die denkbar klarsten geologischen Verhältnisse, bei denen sowohl der Faltung im engeren Sinne als auch der Bruchtektonik nur eine sehr untergeordnete Bedeutung für das Gesamtbild zukommt.

Zur Eindeutigkeit der geologischen Struktur stehen die eingesenkten Hohlformen in scharfem Gegensatz. Im Verhältnis zu anderen Wüstengebieten ist insbesondere ihre ungewöhnliche Größe hervorzuheben. Aber auch unter sich bedeuten sie wieder nach Form und Ausmaß keine einheitlichen Gebilde. Überdies ist auf den ersten Blick weder eine bestimmte Regel in der räumlichen Anordnung, noch eine ungefähre Übereinstimmung nach den Beträgen der Eintiefung zu bemerken. Schon eine kurze Durchmusterung der Formen lehrt, daß von irgendeinem gemeinsamen Prinzip der ursprünglichen Anlage nicht gesprochen werden kann. Zwar hebt BLANCKENHORN[1] als allgemeines Merkmal die Lage der Depressionen auf Schichtgrenzen oder dicht südlich von ihnen hervor. Indes trifft dieser Umstand allgemein nicht zu. So liegen z. B. die Oasenmulden von Baḥrîje und Siwe in geologisch völlig einheitlichem Gebiet und keineswegs im Umkreis von Transgressionsrändern. Ebensowenig lassen sich als gemeinsame Grundursache etwa tektonische Störungen, speziell Brucherscheinungen, geltend machen. Solche sind nur bei einigen Oasen nachzuweisen, dagegen fehlen sie sowohl im Gebiet der Oase Dâchle als auch bei der Qattara-Depression. Andererseits ist Faltenbildung wieder nur in zwei vereinzelten Fällen anzutreffen. Es zeigt sich demnach, daß der Versuch, eine einheitliche Entstehungsursache endogener Art ausfindig zu machen, nicht möglich ist. Aus diesem Grunde gehen auch die Meinungen über die primäre Anlage der Depressionen sehr auseinander.

Unter solchen Umständen erscheint es beachtlich, daß sich die Ansichten über die fernere Ausgestaltung der Depressionen durch exogene Kräfte fast einhellig einem bestimmten Theorem zuneigen: der Winderosion, für die als Voraussetzungen zugleich die vielfältigen Arten der Wüstenverwitterung (Temperaturgegensätze, Salzsprengung, Sandkorrasion usw.) in Anspruch genommen werden. Die Vorstellung von der Beckenbildung durch äolische Kräfte ist insbesondere in Ansehung der Libyschen Wüste am extremsten von WALTHER[1] und BALL[2] vertreten worden. Es muß zugegeben werden, daß die Hypothese von theoretischem Standpunkt vor allem dann bedeutende Überzeugungskraft birgt, wenn die in den Wüstengebieten vorhandenen Agenzien der Denudation vergleichende Betrachtung erfahren, und zweifellos gibt es eine große Anzahl von Landformen, darunter auch Becken- oder Wannenformen[3], die auf Windausfurchung zurückgehen. Aber in jener umfassenden Bedeutung kann die Annahme der äolischen Erosion für die Erklärung der libyschen Hohlformen nicht herangezogen werden. Denn es ist gerade in methodischem Betracht hervorzuheben, daß wohl für die Gesamtheit der Oasenbecken und *ganz allgemein* Winderosion als Ursache der Ausgestaltung angenommen wird, daß es aber bisher an jedem Versuch gefehlt hat, in der Libyschen Wüste für einen speziellen Fall und bei einer bestimmten Oasendepression Umfang und Wirkungsweise der äolischen Ausfurchung in den Einzelheiten klarzulegen.

Bei der Kritik dieser Auffassung dürfen aber vor allem die besonderen Formenmerkmale und Formenunterschiede nicht übersehen werden. Die Gesamtheit der Depressionen läßt sich rein nach der äußeren Gestalt in 2 Gruppen gliedern. Zu der einen gehören die Oasenbecken von Baḥrîje und Farâfra. Beide sind verhältnismäßig klein, und ihr größter Durchmesser überschreitet 100 km nicht. Ihre Form ist die eines allseitig, bei Farâfra nur zum Teil von Schichttafelrändern umschlossenen Kessels. Die andere Gruppe: die Qattara-Depression im Norden der Libyschen Wüste und

[1] Ägypten (Handb. d. Reg. Geologie 7, 9). Heidelberg 1921, S. 181.

[1] Das Gesetz der Wüstenbildung. 4. Aufl. Leipzig 1924, S. 229ff.

[2] Problems of the Libyan Desert. Geogr. J. 70, 32ff. (1927).

[3] E. KAISER in den Düsseldorfer Geogr. Vorträgen und Erörterungen 3. Herausgegeb. von F. THORBECKE. Breslau 1927, S. 77f.

die als einheitliche Depression aufzufassende Hohlform im Gebiet der Oasen Châre und Dâchle ist ganz abweichend gestaltet. Bei jener werden Nord- und Westrand durch die Steilstufen des miozänen Küstenplateaus gebildet, dagegen erheben sich die übrigen Beckenteile in ganz sanfter Böschung gegen Süden und Osten. Dasselbe Formenbild erscheint im Umkreis der Oasen Châre und Dâchle. Hier begrenzen die scharfprofilierten Kanten des Eozänplateaus die Depression im Norden und im Osten. Nach Süden und Westen jedoch steigt das Gelände ganz flach an.

Selbst bei einer flüchtigen Betrachtung muß zugestanden werden, daß derartige Formgebilde von asymmetrischem Hangprofil nicht durch äolische Erosion geschaffen sein können. Insbesondere erscheint es nach unserer bisherigen Kenntnis unmöglich, die steilen Plateauränder als windgeschaffene Formen aufzufassen. Sie stellen unzweifelhaft Schichtstufen dar, die von den ehemaligen Formationsgrenzen ausgegangen sind und deren Steilrelief hauptsächlich auf Abrutschen an Verwitterungsklüften, auf Abspülung und Ssel-Erosion zurückzuführen ist, erreicht ja gerade hier die Abtragung durch fließendes Wasser das bedeutendste Ausmaß in der Libyschen Wüste[1]. In zweiter Linie bleibt bei der Anwendung der Hypothese von der Winderosion das gewiß nicht auf einem bloßen Zufall beruhende Prinzip der regionalen Anordnung eine offene Frage, denn von einem selektiven Angreifen der Korrasion und Deflation kann angesichts der ursprünglichen geologischen Zustände nicht die Rede sein. Am entschiedensten spricht aber die Abwesenheit korrelater Gebilde gegen eine ausschließlich äolische Ausfurchung. Würde sie zu Recht bestehen, so müßten ungeheure Mengen aufbereiteten Gesteins in die Gebiete südlich von den Depressionen verfrachtet worden sein. Allein bei der großen, erst 1926 deutlich erkannten Qattara-Depression würde der Massendefekt einem Schichtpaket von fast dem doppelten Flächeninhalt Zyperns (d. h. über 18 000 qkm) und einer Mächtigkeit von 50 m entsprechen, wenn man nur das unterhalb des Meeresniveaus gelegene Areal in Betracht zieht. Zu einem nicht geringeren Betrage würde man bei dem großen südlichen Becken mit den Oasen Dâchle und Châre gelangen. Ein ganz phantastisch hoher Massendefekt müßte bei der Annahme von Windaushebung herauskommen, wenn nun gar bei der Qattara-Depression als Grenzlinie die + 100-m-Höhenkurve angenommen wird. Es fehlt indes im Süden der Libyschen Wüste durchaus an Ablagerungen, welche diesen beiden mächtigen Hohlformen entsprechen. Vielmehr ist die Landflur jenseits der Oasen bis weit in den Sudan hinein nicht ein Gebiet der Aufschüttung, sondern der Denudation: teils Abtragungsflächen des Nubischen Sandsteins, teils solche des afrizidischen Grundgebirges.

[1] R. UHDEN, Das Formenbild der ägyptischen Wüsten. Z. f. Geomorphol. 4, 229f. (1929).

Durch diese Feststellungen wird die Gültigkeit der Deflationshypothese als solcher zwar nicht aufgehoben, wohl aber speziell für die Libysche Wüste sehr bedeutend eingeschränkt. Offenbar können die Depressionen in ihrer Gesamtheit weder nach der primären Anlage noch nach der späteren Ausgestaltung Skulpturformen sein. Schon an diesem Punkte zeigt es sich, daß die Lösung des Problems nur in besonderen Erscheinungen endogener Art, wenn auch nicht in eigentlich orogenetischen Bewegungen, gefunden werden kann.

Die neuere Forschung läßt die Oberfläche des afrikanischen Kontinentalblocks als ein Gefüge aus verschiedenen Becken erkennen, die teilweise oder vollkommen von Schwellen umschlossen werden. Meist geben schon die großen Stromgebiete über ihre ungefähren Umrisse Aufschluß, wie etwa beim Kongotiefland, dem Tschadsee-Becken oder dem vom Niger im Süden durchströmten Westsaharischen Becken. In Becken und Schwellen treten nichts anderes als weiträumige Verbiegungen der Erdkruste in Erscheinung, die ohne Zweifel seit langen geologischen Zeiten bis in die Gegenwart andauern. Den Beweis hierfür liefern namentlich die Bezirke, wo Schwellen- und Küstengebiete sich decken. In allen Fällen ist hier negative Strandverschiebung selbst bis in historische Zeit festgestellt worden. Naturgemäß sind die Schwellen als Aufschwünge der Kontinentalfläche der Abtragung am stärksten ausgesetzt, so daß vorwiegend in ihnen das kristalline Grundgebirge zutage tritt. Außerdem wird ihre tektonische Agilität aufs klarste durch jungvulkanische Erscheinungen bezeugt. Die Becken hingegen stellen als Einmuldungen Senkungsfelder von währender Eintiefung und damit Behälter weiträumiger Sedimentation und junger Aufschüttung dar.

Auch die Libysche Wüste darf, mit Großzügigkeit betrachtet, als Beckenregion angesprochen werden. Bei genauerer Prüfung läßt sie sich jedoch in zwei getrennte Beckengebiete zerlegen, zwischen denen sich eine besondere Schwelle erhebt. Sie sei hier als *Libysche Schwelle* bezeichnet. Im Grunde bildet sie nur einen Seitenzweig jener großen Mittelsaharischen Schwelle, die Nordafrika von der Provinz Kordofan im Anglo-ägyptischen Sudan bis zum marokkanischen Atlas als große Diagonale durchmißt. Die Libysche Schwelle wurzelt im Südosten des Gebirgslandes von Tibesti und läßt sich in nordöstlicher Richtung fast bis zum Nildelta verfolgen. Namentlich über ihren südlichen Teil haben die Höhenmessungen im Verlauf der Forschungsfahrten des Prinzen KEMAL EL DIN HUSSEIN[1] Licht verbreitet. Die Libysche Schwelle kulminiert in dem 1923 von HASSANEIN BEY entdeckten, bei 1907 m gipfelnden Uenat-Gebirge, einem durch die Sedimentdecke hindurchgestoßenen Grundgebirgsblock vom Umfang des Rhöngebirges, der sich steil und

[1] L'Exploration du Désert Libyque. La Géographie 50, 171ff. u. 320ff. (1928).

1300 m hoch über die umgebende Sandsteinhamada erhebt und merkwürdigerweise gerade an der Stelle aufgefunden wurde, wo die Jahre vorher festgelegten Grenzlinien Ägyptens, des Anglo-ägyptischen Sudans und der italienischen Kolonie Libia zusammentreffen. Gegen Nordosten setzt sich die Libysche Schwelle in dem von mächtigen Steilkanten umrissenen Sandsteinplateau Gilf Kebir (700—1000 m) fort, bleibt aber in ihrem nördlichen Teil meist unterhalb 300 und 400 m Meereshöhe.

Sowohl im Norden wie im Osten wird die Libysche Wüste außerdem von 2 Schwellen

Vereinfachte Kartenskizze der nordöstlichen Libyschen Wüste (Maßstab ca. 1:11 Mill.). Sie zeigt die Lage der kleinen Depressionen auf der schräg gerichteten Achse der Libyschen Schwelle und die Situation der großen Depressionen zwischen den Schwellenzonen. Höhenkurven nach der Karte von J. BALL.

flankiert: an der Mittelmeerküste von der Erhebungszone der Cyrenaika[1] und rechts vom Nil, in der Arabischen Wüste, von der mit Gipfeln über 1800 m besetzten Ostsaharischen Schwelle. Prüft man gerade das Gebiet zwischen der Libyschen Schwelle und dem Gebirgsland Etbai im Osten, so zeigt sich, daß der mittlere Ostteil der Libyschen Wüste, genau genommen, kein Gebiet der Flachschichtung darstellt, sondern eine gewaltige, weitgespannte Mulde. Die ursprüngliche Schichtmächtigkeit des Nubischen Sandsteins kann, vermutungsweise eher zu hoch als zu niedrig gerechnet, auf 500—600 m angeschlagen werden. Man erwäge nun, daß die Oberkante dieser Formation im Gebiet des Gilf Kebir, d. h. auf der Achse der Libyschen Schwelle, allgemein oberhalb 700 m, stellenweise sogar über 1000 m hoch liegt, in der Oase Châre unterhalb 100 m, in der Umgebung von Assuan etwa bei 200 m, dann aber beim Gebel Kala, dem höchsten Punkt der zusammenhängenden Fläche Nubischen Sandsteins in der Wüste zwischen Nil und Rotem Meer, wieder 845 m erreicht. Solche Höhendifferenzen der Oberkante des Nubischen Sandsteins greifen bedeutend über die ursprüngliche Mächtigkeit der Formation hinaus und bezeugen aufs deutlichste die mächtige Einbiegung des Krustenteiles zwischen der Libyschen und der Ostsaharischen Schwelle. Diese Erscheinung beschränkt sich nicht nur auf das Gebiet des Nubischen Sandsteins. Das große Plateau eozänen Kalksteins, welches von der Oase Dungul im Süden nordwärts bis über die Oase Bahrije hinausreicht und östlich vom Nil im sog. Maase-Kalksteinplateau entwickelt ist: auch diese weiträumige, geologisch völlig einheitliche Sedimenttafel hat durch die Hebungsvorgänge auf der Libyschen und Ostsaharischen Schwelle eine Einmuldung erfahren. Durch diese Bewegungen ergab sich sowohl für das Maase-Plateau als auch für das Libysche Wüstenplateau eine leichte Schrägstellung gegen Südwesten, wie sie dort aus der Richtung der Trockentalsysteme (W. Tarfeh, W. Assiut, W. Gusab) zu erkennen ist und wie sie hier aus der geneigten Lage eines Grundwasserflözes folgt, von dem die drei kleinen Oasen Kurkur, Dungul und Bir Nakheila abhängen.

Erst mit der Betrachtung dieser Vorgänge und der von ihnen erzeugten Großformen ist eine Grundlage gewonnen, auf der eine einheitliche Lösung des Problems möglich wird. Es ist jetzt ohne weiteres zu erkennen, daß die bereits oben angegebene Scheidung der Depressionen in zwei Gruppen nicht nur nach den besonderen Formenmerkmalen geschehen kann, sondern auch in anderen Beziehungen auf ein und dasselbe Prinzip hinausläuft. Dies gilt in erster Linie für die räumliche Anordnung der Depressionen, und zwar so, daß sich nach der Lage zunächst der Unterschied zwischen *Becken-Depressionen* und *Schwellen-Depressionen* ergibt. Die Becken-Depressionen nehmen den Muldengrund zwischen 2 Schwellen ein und fallen dementsprechend ziemlich weiträumig aus. Ihr Typus ist am übersichtlichsten bei der Qattara-Depression im Norden der Wüste zwischen der Libyschen Schwelle einerseits und der Cyrenaika-Schwelle andererseits entwickelt. In gleicher Art liegen die als einheitliche Depression betrachteten Oasengebiete von Châre und Dâchle im Grunde der Großmulde zwischen der Libyschen und der Ostsaharischen Schwelle. Zu der lagemäßigen Übereinstimmung tritt als zweite Analogie das Ausmaß der Eintiefung. In beiden Depressionen erreicht die Landoberfläche der Libyschen

[1] Ihr Litoral ist wie das des Roten Meeres seit langem als Hebungsküste erkannt, zuerst 1883 von SCHWEINFURTH bei Tobruk.

Wüste ihre tiefsten Niveaus. So liegt die Qattara-Depression zum größten Teil unterhalb des Meeresniveaus, ihre tiefste Stelle südwestlich von der Oase Qara sogar bei −134 m. Das Gebiet der Oase Siwe ist bis auf −25 m, das der Oase Areg bis auf −70 m eingesenkt. Die große Depression im Süden weist die tiefsten Stellen bei der Oase Châreg auf, deren Gebiet durchweg unterhalb 100 m Meereshöhe liegt und an einem Punkte (Ain Zaiyan) −18 m erreicht.

Nach diesem Befunde läßt sich die primäre Anlage der Becken-Depressionen als einfache Folge der weitgespannten Krustenverbiegungen auffassen. Ihre teilweise Begrenzung durch steile Plateauränder bedeutet, genau genommen, in morphogenetischem Sinne kein spezifisches Formenmerkmal der Depressionen als solcher, sondern einen in erster Linie für die angelagerten Schichttafeln charakteristischen Zustand. Mit anderen Worten: *die ungleichseitige Form und das asymmetrische Hangprofil beruhen allein auf der Kombination von Plateaukanten, die durch Rückverlegung von Transgressionsrändern entstanden sind, mit den von der Libyschen Schwelle herabziehenden Verbiegungsflächen.* Entsprechend dieser Vorstellung erscheinen nun auch die im Oasengebiet von Châreg beobachteten tektonischen Störungen, insbesondere jene Längsverwerfung, die als Grabenbruch den Gebel Ter umschließt[1] und die man bisher als unabweisliche Voraussetzung bei der Bildung der großen Hohlform angesehen hat, durchaus als Erscheinungen von untergeordnetem Range. Denn von genetischem Gesichtspunkt aus sind sie in gleicher Art wie die Steilstufen nicht spezifisch für die Depressionen, sondern für die angelagerten Schichttafeln, deren Randverlauf gerade an dieser Stelle durch die Bruchtektonik wesentlich modifiziert worden ist. Daß die tektonischen Eingriffe für die primäre Anlage der Hohlformen tatsächlich belanglos sind, beweist das Gebiet der Oase Dâchle, wo nirgends Störungen des Schichtverbandes auf engem Raum nachzuweisen sind, und wo die ungleichseitige Hohlform in ähnlicher Weise durch Kombination der sanft ansteigenden Verbiegungsfläche mit dem an dieser Stelle ausschließlich aus Kreidekalkstein aufgebauten Schichttafelrand zurückzuführen ist. Auch im Norden, bei der Qattara-Depression, trifft man auf die gleichen Verhältnisse. Auch hier fehlt es an einer tektonischen Begünstigung in Form von Brüchen, und es ist deutlich zu erkennen, wie in diesem Teil der Wüste die Einbiegungsmulde zwischen der Libyschen Schwelle und der Cyrenaika-Schwelle durch die Steilränder des miozänen Küstenplateaus im Norden und Westen abgeschlossen wird. So erscheint demnach die Gruppe der weiträumigen und tiefen Depressionen im wesentlichen als solche von epirogenetisch entstandenen und durch Schichttafelanlagerung modifizierten *Strukturformen*.

[1] J. BALL, Kharga Oasis. Cairo 1900, S. 95ff.

Ganz anders liegen die Dinge bei der zweiten Gruppe der Hohlformen, bei den kleinen Oasendepressionen. Aber auch hier ist ein einheitliches Prinzip der regionalen Anordnung nicht zu verkennen: die Lage auf der Scheitellinie der Libyschen Schwelle, in deren Erstreckung sich beide Depressionen und außerdem die kleine Mulde der Hattîje Abu Mungar ordnen. Auch nach den Beträgen der Eintiefung zeigt sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung. Die tiefsten Punkte der Oasenmulden bewegen sich um 100 m Meereshöhe (Abu Mungar 117 m, Farâfra 90 m, Bahrîje 100 m). Die primäre Anlage dieser Hohlformen ist aufs engste mit den Hebungsvorgängen auf der Libyschen Schwelle verknüpft, für deren tektonische Beweglichkeit in erster Linie jungvulkanische Erscheinungen sprechen. Denn in bemerkenswerter Weise reihen sich auch die oligozänen Basaltergüsse von der Oase Bahrîje bis zum Nordrand des Faiyum-Beckens (Gebel el Qatrani) ganz einheitlich in der Achsenrichtung der Libyschen Schwelle. Das gemeinsame Merkmal der Schwellen-Depressionen ist nun das Auftreten von Antiklinalen. Bei der Bahrîje-Oase sind die Cenoman- und Danienschichten aufgebogen, so daß zwischen ihnen und den hangenden Eozänsedimenten eine Diskordanz besteht[1]. Das gleiche gilt für das Gebiet der Oase Farâfra, nur ist hier die prätertiäre Aufwölbung entsprechend der Verbreiterung der Libyschen Schwelle gegen Süden hin schwächer ausgeprägt. Bereits am Ende der Kreideperiode wurden also hier auf begrenztem Raum besondere Teile der Schwelle tektonisch herausgehoben und, wie man mit HUME[2] vermuten kann, durch marine Abrasion des Eozän-Meeres eingeebnet. Sei es nun, daß nach dessen Rückzug die Gebiete der beiden Oasen inmitten der eozänen Schichttafel geologische Fenster bildeten oder sei es, daß weitere Aufwölbung die hier abgelagerten Deckschichten aufgebrochen hat: in jedem Falle wurden die gegenüber dem harten Eozänkalkstein sehr viel weniger widerstandsfähigen, unterlagernden Kreidekalke, Mergelkalke und Mergel des Daniens der Verwitterung und Deflation zugänglich. Zum Unterschied gegen die Becken-Depressionen beruht also die primäre Anlage der Schwellen-Depressionen auf der Entblößung liegender Schichten. Ihre weitere Ausgestaltung aber kann nur durch äolische Erosion erfolgt sein, und die Annahme eines derartigen Vorganges begegnet in diesem Falle und angesichts des geringen Umfanges der beiden Oasenkessel keinen besonderen Schwierigkeiten. Sie stellen also im wesentlichen *Skulpturformen* dar, die sich nur dort bilden konnten, wo die eozäne Sedimenttafel Lücken oder Aufbrüche zeigte.

In dieser Fassung und zurückgeführt auf das spezifisch-afrikanische Phänomen der Schwellen- und Beckenstruktur, wird das vielumstrittene

[1] H. J. L. BEADNELL, Baharia Oasis. Cairo 1903, S. 65f.

[2] Geology of Egypt. 1, 73. Cairo 1925.

Problem der libyschen Depressionen entschieden durchsichtiger. Daß sich eine Untersuchung auf solcher Grundlage verläufig nur in den Umrissen skizzieren läßt, versteht sich bei dem unvollkommenen Stande der geologischen und selbst der topographischen Kenntnis. Insbesondere aber erweist sich, daß die ganze Frage keineswegs nur durch Erforschung der Oasenbecken allein beantwortet werden kann, sondern daß erst die Betrachtung der gesamten Landfläche und des allgemeinen Baues von Nordost-Afrika den Schlüssel zum Verständnis dieser eigentümlichen und geographisch anscheinend ganz isolierten Erscheinungen bietet.

Über den Betrieb von Hochvakuumpumpen mit hochsiedenden organischen Substanzen.

Von HANS KLUMB, Berlin.

Bis in die jüngste Zeit ist in gebräuchlichen Hochvakuumpumpen (Diffusionspumpen) ausschließlich Quecksilberdampf als Treibstoff verwendet worden. Er besitzt Vorzüge, wie geeignetes Molekulargewicht, Dampfdruck u. a. m., die ihn für den genannten Zweck sehr brauchbar erscheinen lassen. Doch stehen eben diesen Vorzügen einige nachteiligen Eigenschaften gegenüber, die den Ersatz des Quecksilbers durch andere geeignete Substanzen wünschenswert machen. An erster Stelle muß hier die gesundheitsschädigende Wirkung des Quecksilberdampfes auf den menschlichen Organismus genannt werden. Diese kann zwar in ihrer Auswirkung durch geeignete Schutzmaßnahmen, wie sie in gewerblichen Betrieben vorgeschrieben sind, gemildert werden. Die Gefahr langsamer Vergiftung des Personals bleibt jedoch immer bestehen, besonders dort, wo große Mengen von Quecksilber in Pumpen und Manometern innerhalb der Arbeitsräume sich befinden. Es muß daher ein mit allen Mitteln anzustrebendes Ziel sein, eine solche Substanz nach Möglichkeit ganz aus Arbeitsräumen zu entfernen und durch harmlosere Stoffe zu ersetzen. Hinzu kommt, daß das Quecksilber bei Zimmertemperatur einen beträchtlichen Dampfdruck besitzt. In Verbindung mit der niedrigen optischen Anregungsspannung des Quecksilberdampfes und seinem Bestreben, mit den meisten Metallen Verbindungen einzugehen, stört dieser bei vielen Untersuchungen und Fabrikationsverfahren. Man ist daher, um ihn fernzuhalten, zur Anwendung oft unbequemer und kostspieliger Kühlmittel gezwungen. Als nachteilig zu nennen ist schließlich auch der relativ hohe Preis von Quecksilber. Es ist daher zu begrüßen, besonders im Hinblick auf den ersten Gesichtspunkt, daß an einigen Stellen der Versuch unternommen wurde — wie es den Anschein hat, mit einem gewissen Erfolg —, einen Ersatz für Quecksilber zu finden.

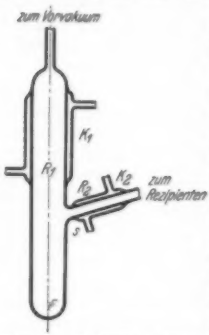


Fig. 1. Schema einer Diffusionspumpe.

Um entscheiden zu können, ob und in welchem Umfang eine Substanz als Quecksilberersatz, als Treibstoff in Hochvakuumpumpen Verwendung finden kann, erscheint es zweckmäßig, eine kurze Beschreibung der physikalischen Vorgänge in einer solchen Pumpe zu geben (Fig. 1). Man stelle sich vor, ein Dampf steige in einem mit Gas von niedrigem Druck gefüllten Gefäß von einer siedenden Flüssigkeit F auf, strömt durch das Rohr R und werde oben im Kühler K_1 kondensiert. In dieses Rohr münde seitlich ein zweites R_2, das möglichst nahe an der Einführungsstelle s durch den Kühler K_2 gekühlt werde. Der Druck des Dampfes und des Gases in der Umgebung der Einmündestelle, des sog. Diffusionsspaltes s sei so gewählt, daß die freien Weglängen der Moleküle von mindestens gleicher Größenordnung mit den Rohrdimensionen sind. Dann gelten die Diffusionsgesetze, d. h. die in den beiden Richtungen in der Zeiteinheit durch den Diffusionsspalt strömenden Gasmengen sind den Partialdruckdifferenzen proportional und verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Molekulargewichtungen von Gas und Dampf. Das Gas im Rezipienten diffundiert demnach dem Partialdruckgefälle folgend in den Dampfstrom hinein, wird von diesem zur Kondensationsstelle K_1 fortgerissen und dort nach dem Vorvakuum hin abgegeben. Gleichzeitig übt der strömende Dampf nach dem Vorvakuum hin eine Sperrwirkung aus, d. h. bewirkt, daß die Rückdiffusion eines Gasmoleküls vom Vorvakuum zum Hochvakuum unwahrscheinlich wird. Diese Vorgänge wurden zuerst von GAEDE untersucht und in der sog. Diffusionspumpe technisch verwertet.

Die Geschwindigkeit, mit der eine solche Vorrichtung die durch den Spalt andiffundierenden Moleküle abtransportiert, ebenso die Sperrwirkung gegen das Vorvakuum, ist um so größer, je größer die Geschwindigkeit des Dampfstromes ist. Da das eben beschriebene Modell die Verwendung hoher Dampfgeschwindigkeiten wegen der hierzu nötigen hohen Dampfdrucke nicht gestattet, so bleiben Sauggeschwindigkeit und Sperrwirkung gering. Es ist das Verdienst LANGMUIRS, durch Verwendung geeignet geführter Dampfstrahlen und geeigneter Kühlung an solchen Diffusionspumpen Typen von hoher Sauggeschwindigkeit geschaffen und damit den Weg zur Konstruktion der modernen Hochleistungspumpen gewiesen zu haben.

Mit der Diffusion des Gases in den Dampfraum geht die Diffusion der Dampfmoleküle in den

Rezipienten parallel, ein Vorgang, der dazu führt, daß die ankommenden Gasmoleküle am Spalt durch die hereindiffundierenden Dampfmoleküle um so mehr zurückgedrängt werden, je größer die Diffusionsgeschwindigkeit des Dampfes, d. h. je niedriger sein Molekulargewicht ist. Man wird daher von einem Treibstoff für Hochvakuumpumpen zunächst ein hohes Molekulargewicht fordern müssen.

Die Güte des Vakuums, das mit Hilfe einer solchen Pumpe zu erreichen ist, das sog. Grenzvakuum, ist bestimmt, einerseits durch die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Molekül dem Dampfstrom entgegen vom Vorvakuum zum Hochvakuum diffundieren kann, dann aber vor allem durch den Gehalt des Treibdampfes an leichtatomigen Verunreinigungen, die von der kondensierenden Flüssigkeit an den Wänden des Kühlers aufgenommen werden oder durch Zersetzung der Substanz im Siedegefäß entstanden sein können. Die erste Wirkung dürfte im allgemeinen zu vernachlässigen sein, da nach LANGMUIR die Wahrscheinlichkeit einer solchen Rückdiffusion von der Größenordnung $1 \cdot 10^{-20}$ ist. Um daher ein genügend hohes Grenzvakuum — hier sind $1 \cdot 10^{-6}$ mm als genügend anzusehen — mit einer Pumpsubstanz zu erreichen, ist zu verlangen, daß diese Substanz bei der Betriebstemperatur der Pumpe keine Zersetzung in Bestandteile von niedrigem Molekulargewicht erfährt.

Sodann muß der betreffende Stoff bei der Temperatur des Pumpenkühlers einen möglichst geringen Dampfdruck besitzen, so daß hierdurch besondere Kühlmittel unter Umständen in Wegfall kommen können.

Schließlich aber darf der Treibstoff mit den in einer gewöhnlichen Vakuumapparatur enthaltenen Gasen und Dämpfen keine leicht sich zersetzenden Verbindungen eingehen.

Von diesen Gesichtspunkten aus sind in den letzten Jahren eine ganze Reihe organischer Substanzen auf ihre Eignung als Treibstoff für Diffusionspumpen untersucht worden. Es handelt sich hierbei um die Untersuchungen von BURCH[1] mit Kohlenwasserstoffen, von HICKMAN und C. R. SANFORD[2] über die Ester der Phtalsäure, und schließlich um noch nicht veröffentlichte Untersuchungen des Verfassers gemeinsam mit Frl. M. v. BRANDENSTEIN über die Brauchbarkeit eines Phtalsäureesters und die Verwendung bei normaler Temperatur fester Paraffine in Diffusionspumpen.

Es war BURCH, der als erster auf Grund seiner Versuche über die Destillation organischer Substanzen im Hochvakuum an eine Verwendung der auf diesem Wege erhaltenen Öle in Hochvakuumpumpen dachte und den ersten Versuch anstellte. Er verwendete Metalldiffusionspumpen und erreichte nach Messungen mit dem Ionisationsmanometer, soweit seine etwas knapp gehaltenen Angaben es beurteilen lassen, ohne Verwendung von flüssiger Luft, Vakua von $1 \cdot 10^{-7}$ mm Quecksilbersäule. Dies dürfte auch die Größenordnung des Dampfdruckes seiner Öle sein. Die Sauggeschwindigkeit seiner Pumpe war bei einem Druck von 0,001 mm gleich 2000 ccm, also der Sauggeschwindigkeit einer guten Quecksilberpumpe wohl zu vergleichen. Die Öle, die später unter dem Namen Apiezon A und B in den Handel gekommen sind, sind hochsiedende Produkte der Destillation von Petroleum im Vakuum, zersetzen sich bei etwa 300° und haben ein Molekulargewicht ähnlich dem des Quecksilbers. Sie stellen hiernach einen guten Ersatz für Quecksilber dar, haben aber gegenüber diesem nach unseren Untersuchungen einige Nachteile. Die Substanzen nehmen aus der Luft Feuchtigkeit auf oder zersetzen sich unter dem Einfluß von Sauerstoff, so daß sie nach jeder Berührung mit der Atmosphäre über viele Stunden, manchmal Tage entgast werden müssen. Ferner sind sie gegen Quecksilber sehr empfindlich. Geringe Mengen von Quecksilberdampf, die aus einem Manometer in die Pumpe gelangen, beeinträchtigen die Wirksamkeit stark, machen manchmal das Öl unbrauchbar. Die mit diesen Substanzen beschickten Pumpen sowie alle mit organischen Füllungen arbeitenden Vorrichtungen, die bis jetzt untersucht wurden, haben ferner die Eigenart, nur innerhalb eines sehr engen Temperaturbereiches einwandfrei zu arbeiten. Gewöhnlich muß die Temperatur der Pumpflüssigkeit innerhalb 5—10° konstant gehalten werden. Ob diese Erscheinung aber auf besondere Eigenschaften der Substanzen zurückzuführen ist, oder ob sie durch ungeeignete Konstruktion der Pumpen bedingt ist, läßt sich vor der Hand nicht entscheiden.

Im Laufe des letzten Jahres wurde sodann von HICKMAN und SANFORD eine große Zahl anderer stabiler Substanzen untersucht: die Ester der Phtal-, Malon- und Stearinsäure sowie Halogen- und Quecksilberderivate organischer Öle. Brauchbar erwiesen sich von all diesen nur zwei Stoffe, erstens das Di-n-Butylphtalat $C_{16}H_{22}O_4$ und Butyl-Benzyl-Phtalat $C_{19}H_{20}O_4$ und in gewissem Grade sog. Vakuumöl. Die Molekulargewichte dieser Substanzen sind 240 und 332, demnach für unsern Zweck recht geeignet. Die thermische Stabilität ist, wie besondere Versuche zeigen, ebenfalls günstig. Die Dampfdrucke bei niedrigen Temperaturen zeigt die Tabelle 1. Infolge der niedrigen Dampfdrucke kann man in vielen Fällen auf Kühlung mit flüssiger Luft verzichten oder statt dessen ein Eisbad verwenden, ein Umstand,

Tabelle 1. *Dampfdrucke nach Hickman und Sanford.*

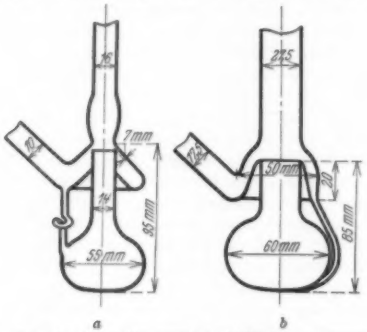
Substanz	bei 0° mm Hg	bei 25° mm Hg
Di-n-Butylphtalat. .	$3{,}5 \cdot 10^{-6}$	$7{,}8 \cdot 10^{-5}$
Butyl-Benzyl-Phtalat	$2{,}6 \cdot 10^{-7}$	$6{,}2 \cdot 10^{-6}$
Vakuumpumpenöl. .	$1{,}2-2{,}1 \cdot 10^{-7}$	$2{,}9-4 \cdot 10^{-6}$

[1] C. H. BURCH, Nature **122**, 729 (1928) — Proc. roy. Soc. Lond. **123**, 271 (1929).

[2] K. C. D. HICKMAN u. SANFORD, The Review of Scientific Instruments **1**, N.S. Nr 3, 144.

der sehr für die Verwendbarkeit dieser Substanzen spricht.

HICKMAN und SANFORD versuchten ferner, einfache Diffusionspumpenmodelle zu konstruieren, die mit diesen Substanzen gut arbeiten und entwickelten zwei Modelle (Fig. 2a und b), die, wie der Versuch zeigt, einwandfrei sind. Sie bedeuten dadurch einen konstruktiven Fortschritt, daß sie ohne Wasserkühlung nur mit Luftkühlung arbeiten. Kupferdraht oder Blech, die um den Pumpenkühler gewickelt werden und die Wärme abführen, genügen vollständig. Mit einer solchen Pumpe konnten sie bei einigen 30 Watt Heizleistung und einigen Hundertstel Millimeter Vorvakuumdruck, ohne flüssige Luft zu verwenden — mit dem MacLeod gemessen — ein gutes Vakuum erreichen. Messungen mit dem Ionisationsmanometer, die Frl. M. v. BRANDENSTEIN und der Verfasser ausgeführt haben, zeigen, daß sich mit solchen Pumpen bei Verwendung von flüssiger Luft Drucke



a *b*

Fig. 2, *a* u. *b*. Modelle zweier Diffusionspumpen für den Betrieb mit organischen Substanzen. (Nach HICKMAN u. SANFORD.)

kleiner als $1 \cdot 10^{-5}$ mm ohne weiteres erreichen lassen. Da die von HICKMAN und SANFORD angegebenen Modelle auch mit Quecksilber arbeiten, so ist dadurch die Möglichkeit gegeben, die Brauchbarkeit der Substanzen mit der von Quecksilber in ein und derselben Pumpe zu vergleichen. Die folgende Tabelle 2 (nach HICKMAN und SANFORD)

Tabelle 2. *Betriebsdaten von Phtalatpumpen (nach Hickman und Sanford).*

Substanz	Heizleistung	Vorvakuumdruck mm Hg	Saugleistung ccm/sec
Di-n-Butylphtalat. .	45 Watt	0,09	7000
Butyl-Benzyl-Phtalat	70 Watt	0,08	10000
Vakuumpumpenöl. .	65 Watt	0,07	4500

gibt die Sauggeschwindigkeiten und notwendigen Heizleistungen bei verschiedenen Vorvakuumdrucken für eine Pumpe an. Wie man sieht, ergeben sich außerordentlich günstige Werte. Wir haben solche Pumpenmodelle nach Angaben von HICKMAN und SANFORD herstellen lassen und geprüft. Schon das erste Modell arbeitete einwandfrei und gab bei Verwendung von flüssiger Luft im Ionisationsmanometer Drucke die unter $1 \cdot 10^{-5}$ mm lagen. Ohne flüssige Luft zeigte ein MacLeod, das $1 \cdot 10^{-5}$ mm noch zu schätzen gestattete, mehrere Zentimeter Klebevakuum, so daß man annehmen kann, daß auch hier der Druck der nicht kondensierbaren Gase kleiner war als $1 \cdot 10^{-5}$ mm. Gleichzeitig konnten wir feststellen, daß das Di-n-Butylphtalat sich auch für den Betrieb der alten wassergekühlten, Diffusionspumpen aus Glas gut eignet. Die von LEYBOLD hergestellte Glasdiffusionspumpe, die VOLLMERSCHE K-Pumpe, geben gute Resultate. Die Pumpen brauchen lediglich ein etwas höheres Vorvakuum, im Durchschnitt 0,01 mm, zeigen auch die Eigentümlichkeit, nur in einem engen Temperaturbereich gut zu arbeiten. Dieser liegt nach unseren Messungen für die luftgekühlte Pumpe bei 124—129°, bei wassergekühlten 128° bis 135°. Ein großer Vorzug der Phtalate ist es, daß sie, soweit wir feststellen konnten, gegen Quecksilberdampf weitgehend unempfindlich zu sein scheinen. Dagegen lassen sie sich nicht in Stahlpumpen verwenden, da sie den Stahl angreifen. Zwei Dinge aber haben sie mit den Kohlenwasserstoffen von BURCH gemeinsam, sie erfahren beim Stehen an Luft innere Veränderungen und müssen nachher entgast werden. Allerdings vollzieht sich diese Entgasung beim Phtalat rascher als beim Öl. Ferner aber arbeiten all diese Substanzen nur bei den angegebenen tiefen Temperaturen gut, können daher nach aller Erfahrung in mehrstufigen Pumpen die hohe Dampfdrucke erfordern, vorläufig nicht verwendet werden. Ebenso muß bei der Heizung der Pumpe ein lokales Überhitzen der Substanz vermieden werden, so daß Gasheizung nur unter Vorsichtsmaßregeln, wie Metallschutz oder Temperaturbäder, angewendet werden darf. Am besten ist elektrische Heizung unter Verwendung eines Temperaturbades. Durch diese Messungen dürfte die Brauchbarkeit der Phtalate für den Betrieb von Hochvakuumpumpen erwiesen sein. Darüber hinaus können sie als Füllflüssigkeit für Manometer Bedeutung gewinnen. Zwar benetzen sie Glas und es hat den Anschein, als wären sie z. B. für MacLeodmanometer nicht brauchbar. Doch zeigt der Versuch, daß bei Verwendung von Kapillaren mit 5 mm innerem Durchmesser sehr wohl abgekürzte MacLeods mit Phtalatfüllung gebraucht werden können, die infolge der geringen Dichte des Phtalats dem Quecksilbermanometer an Empfindlichkeit wenig nachstehen dürften[1].

Schließlich hat der Verfasser und Frl. M. v. BRANDENSTEIN Versuche darüber angestellt, ob organische Substanzen, die bei gewöhnlicher Temperatur fest sind, zum Betrieb von Hochvakuumpumpen geeignet sind. Die Versuche wurden ausgeführt mit Paraffin. Es zeigte sich, daß bei Verwendung dieser Substanz eine gute Pumpwirkung

[1] Allerdings muß hierbei berücksichtigt werden, daß über die Löslichkeit von Gasen im Phtalat noch keine Angaben vorliegen und daß durch Lösungserscheinungen große Fehler hervorgerufen werden können.

erzielt, aber erst nach langem Entgasen ein gutes Hochvakuum unter $1 \cdot 10^{-5}$ mm erreicht werden kann, so daß erst Versuche mit festen Phtalaten und anderen stabilen Substanzen hier Brauchbares ergeben können. Es ist zu erwarten, daß diese festen Substanzen an Luft sich weniger mit Gas beladen, infolgedessen leichter entgasbar sind als die flüssigen Substanzen.

Diese Tatsachen zeigen, daß ein Ersatz des Quecksilbers durch organische Substanzen tatsächlich möglich ist. In welchem Umfang das der Fall ist, kann auf Grund des bis jetzt vorliegenden spärlichen Materiales noch nicht gesagt werden. Erst vielseitige technischen Erfahrungen auf den verschiedensten Anwendungsgebieten können eine solche Brauchbarkeit dartun. Immerhin dürften die Ergebnisse bis jetzt als vielversprechend bezeichnet werden und eine rasche und eingehende Bearbeitung dieses Problems scheint bei den Gefahren, die Quecksilber für alle damit Arbeitenden in sich birgt, und den Vorteilen, die der niedrige Preis des Phtalats und die einfache Konstruktion der Phtalatpumpen bieten, in hohem Grade wünschenswert.

Notiz über Optimalfarben.

Von SIEGFRIED RÖSCH, Leipzig.

Die Optimalfarben sind für die Farbenlehre von ganz besonderer Wichtigkeit, was von einsichtigen Forschern schon lange erkannt ist und in neuerer Zeit mehr und mehr von der Allgemeinheit bestätigt wird. Sie sind bekanntlich dadurch charakterisiert[1], daß ihre Spektren jede Wellenlänge des sichtbaren Bereichs nur in der Intensität 0 oder 1 (bezogen auf die Lichtquelle) enthalten, und daß maximal nur 2 Sprungstellen zwischen 0 und 1 vorkommen: ein Spektrum ohne Sprungstelle bildet also den Reiz, der die Empfindungen Weiß ($I = 1$) bzw. Schwarz ($I = 0$) auslöst, eine Sprungstelle führt zu Farben der „Kantenspektren" oder „Langend- und Kurzendfarben", zwei Sprungstellen zu den „Mittelfarben" und „Mittelfehlfarben". Die hervorstechendsten Eigenschaften der Optimalfarben sind: 1. Farbe und Spektrum sind, abweichend von allen anderen Fällen, einander eindeutig zugeordnet; 2. sie sind die hellstmöglichen unter den jeweiligen „Farben gleicher Reizart" (gleiche Sättigung und gleicher Farbton!), und da sie 3. alle möglichen Farbtöne und alle Sättigungen lückenlos und eindeutig bestimmen, bilden sie die äußere Oberfläche des Farbenreizkörpers, der Gesamtheit aller reellen Farben. Wie man auf Grund dieser Erkenntnisse sie für die messende Farbenlehre nutzbar machen kann, wurde in meiner Arbeit von 1928 gezeigt, und soll demnächst ausführlicher dargelegt werden.

Durch zwei Zahlenangaben ist eine bestimmte Optimalfarbe nebst ihrem Spektrum definiert (ihre Mannigfaltigkeit ist zweidimensional!); anschaulich und zweckmäßig sind dazu die Wellenlängen λ_1 und λ_2 der beiden Sprungstellen oder, was gleichwertig ist, ihr Abstand, die „Spaltbreite" $sp = \lambda_1 - \lambda_2$, und die „mittlere Wellenlänge" $\lambda_m = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$. Wie sich diese Koordinaten in dem üblichen Bild der Farbentafel ausnehmen, zeigt Fig. 1, in der $\mathfrak{R}$, $\mathfrak{G}$, $\mathfrak{B}$ die drei Grundempfindungen Rot, Grün, Blau als Ecken des HELMHOLTZ-IVESSchen Farbdreiecks repräsentieren, W den Ort für Weiß in dessen Mitte, die Kurve 700—600—500—400 den Zug der Spektralfarben (der sich von 400 nach 700 über die Purpurfarben hinweg zum „Farbenkreis" schließt). K_g und K_b stellen das gelbe und das blaue Kantenspektrum dar; diese beiden Linien trennen das Gebiet der Mittelfarben (oben, Bereich des Grün) von dem der Mittelfehlfarben (unten, Bereich des Purpur). Längs der Kurve (+ 100) ist die Spaltbreite der Optimalfarben konstant = 100 $\mu\mu$ (Mittelfarben); im Purpurgebiet ist der Zug der hierzu genau komplementären Optimalfarben (Blende von 100 $\mu\mu$ Breite im Spektrum) durch die Linie (— 100) gekennzeichnet. Komplementäre Optimalfarbenpaare haben gleiches λ_m (im Bilde z. B. = 510 $\mu\mu$) und sp-Werte von gleicher Absolutgröße, aber verschiedenem Vorzeichen; die beiden liegen stets auf einer Geraden durch W.

Es zeugt von GOETHES hervorragender Beobachtungsgabe und seinem intuitiven Instinkt des Genies,

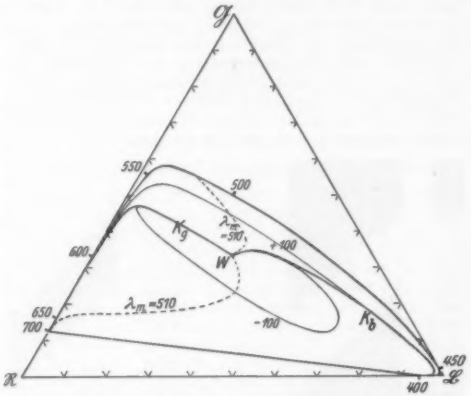


Fig. 1. HELMHOLTZ-IVESSches Farbdreieck mit Kurven gleicher mittlerer Wellenlänge und Kurven gleicher Spaltbreite.

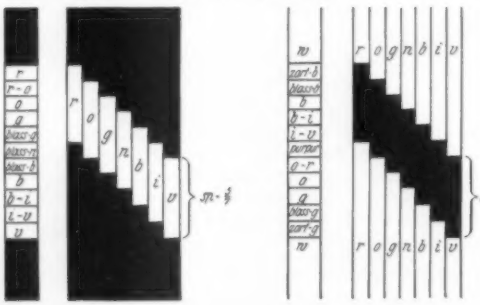
daß er die Bedeutung der Optimalfarben wohl erahnte und sie zu den Fundamentalerscheinungen der Farbenwelt zählte; demgemäß tauchen sie in Text und Bild in seiner Farbenlehre immer wieder auf; so findet man sie z. B. auf fast allen der „Sechzehn Tafeln", die 1810 in Tübingen bei Cotta erschienen[1]. Es mag hier erwähnt werden (da mir nicht bekannt ist, ob von anderer Seite schon darauf hingewiesen wurde), daß, abgesehen von dem bekannten hemmungslosen, gegen die „Stock-Newtonianer" gerichteten Kampfgeist, der diese ganzen Blätter durchzieht und den sonst so objek-

[1] Siehe E. SCHRÖDINGER, Ann. Physik (4) **62**, 603—622 (1920) — R. LUTHER, Z. techn. Physik **8**, 540—558 (1927) — S. RÖSCH, Physik. Z. **29**, 83—91 (1928); Fortschr. Mineralogie **13**, 73—234 (1929); an beiden letztgenannten Stellen findet man die weitere hergehörige Literatur angeführt.

[1] Auch wiedergegeben in der Inselausgabe von GOETHES Farbenlehre. Leipzig 1926.

tiven Olympier zu gar manchem unverantwortlichen derben Wort und zu manchem Irrtum verleitet, auch der Bildteil nicht frei von Fehlern ist. Auf Tafel 10 ist nämlich unten bei „Wünsch" die Farbenfolge der drei Grundfarben fälschlich Blau-Rot-Grün, statt wie auf Tafel 9 Rot-Grün-Blau. Da das Bild in entstellter Form im Text eingehend benutzt ist, um die Lehre WÜNSCHS ins Absurde zu führen, ist man fast versucht, an boshafte Absicht zu denken. Andernfalls wäre es wieder ein schlagender Beweis für das völlige Unverständnis, mit dem GOETHE der physikalisch eingestellten Farbenlehre gegenüberstand, das auch im Text fast aus jedem Satze spricht.

In der Natur treten die Optimalfarben besonders in Erscheinung bei der normalen Brechungsdispersion, z. B. beim Betrachten einer Kante Hell-Dunkel oder eines hellen (bzw. dunklen) Streifens in dunklem (bzw. hellem) Feld durch ein Prisma. Dahin gehören auch die bekannten Farbsäume an Bildern, die von einfachen Linsen entworfen sind (Projektionsapparat bei schlechter Lampenzentrierung), sowie das Farbenspiel im Feuer des Brillanten, Totalreflexionsgrenze in weißem Licht u. a. m. Ihre Entstehung in diesen Fällen wird durch die schematischen Zeichnungen Fig. 2a und b veranschaulicht; diese lehnen sich eng an die auf F. A. C. GREN (nicht Green!) zurückgehende Figur an, die GOETHE an genanntem Orte bringt, scheinen mir aber etwas klarer angeordnet zu sein. Es sind links jeweils die Erscheinungen der Farben bei der Lichtbrechung gezeigt, die man gewahrt, wenn man nach einem hellen oder dunklen Streifen (von der Spaltbreite *sp*, die im Beispiel der Figur $^5/_7$ des Spektrums umfaßt) blickt, rechts daneben die dazugehörigen Spektren, schematisch in 7 Farben zergliedert. Gute Anschauungsmittel hierzu bilden KIRSCHMANNS Kombinationsspalt[1] und PULFRICHS Polariskop[2]; bei beiden Apparaten können die Optimalfarben hergestellt und studiert werden.



2a 2b

Fig 2. Aussehen und spektrale Entstehungsweise optimaler Mittelfarben (2 *a*) und Mittelfehlfarben (2 *b*).

Für manche Bedürfnisse, insbesondere bei der Demonstration vor einem größeren Zuschauerkreis, ist es aber vielleicht von Interesse, im folgenden noch einen Weg zur Vorführung der genannten Farberscheinungen und ihrer Entstehungsart zu schildern. Dieses Verfahren zeichnet sich durch Einfachheit und Anschaulichkeit aus, gibt allerdings die Optimalfarben nicht exakt, sondern nur qualitativ angenähert wieder. Es handelt sich um eine Demonstration mittels des altbewährten Farbkreisels.

Bei diesen Kreiselscheiben ist von den GRASSMANNschen Farbenmischungssätzen Gebrauch gemacht, in der Form, daß bei additiver Mischung von Farben, die gewissen Originalfarben ähnlich sind, auch die Misch-

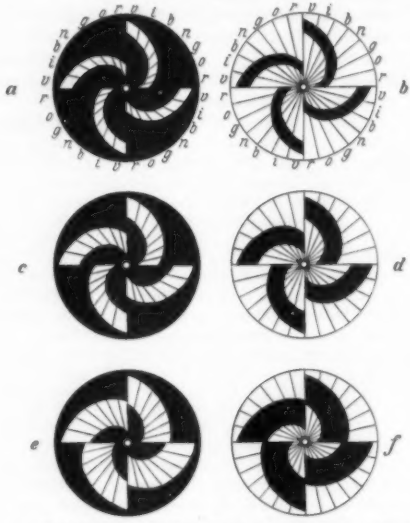


Fig. 3. Farbkreiselscheiben für typische Optimalfarben.

farben denjenigen der Originale ähneln. Das reine und kontinuierliche Spektrum wird nämlich ersetzt durch eine Folge von 7 Pigmentfarben: rot (*r*), orange (*o*), gelb (*g*), grün (*n*), blau (*b*), indigo (*i*), violett (*v*), die so ausgewählt sind, daß sie dem Aussehen der Spektralfarben nach Sättigung und Helligkeit tunlichst nahekommen, und daß sie, in gleichen Anteilen gemischt, Neutralgrau („Weiß") ergeben. Bringt man diese 7 Pigmente in radialen Sektoren auf Scheiben an (zur leichteren Flimmervermeidung in vierfacher Wiederholung), so resultiert beim Drehen Weiß. Nun sind die Scheiben mit schwarzen Flächen und Streifen überzogen, die so angeordnet wurden, daß jede Scheibe rotierend eine typische Serie von Optimalfarben, von bestimmter Spaltbreite, wiedergibt. Die Grenzlinien sind arithmetische Spiralen. Im einzelnen sei bemerkt: Fig. 3a zeigt fast reine Spektralfarben, da nur je 2 Farben (außer den Spektralenden) beim Drehen sich überdecken: Die Spaltbreite beträgt $^2/_7$ des Spektrums; in Fig. 3b ist gewissermaßen eine Blende von der gleichen Breite angebracht: es fehlen jeweils 2 Farben von den 7 Weißkomponenten; das Resultat sind zartgefärbte Ringe, die als bedeutsamste Erscheinung Purpurtöne von kräftigerer Färbung dort zeigen, wo die hellsten Farben des Spektrums, Gelb-Grün, fehlen. In Fig. 3c und 3d ergeben sich wieder ähnliche komplementäre Mischfarben: da *sp* hier $^4/_7$ des Spektrums umfaßt, sind die mittleren Partien in 3c jedoch blasser grün als in 3a, die in 3d gesättigter purpurn als in 3b. Schließlich ist bei Fig. 3e und 3f *sp* breiter geworden als das Spektral-

[1] A. KIRSCHMANN, Neue psychol. Studien **2**, 424 (1926). Hersteller: E. ZIMMERMANN, Leipzig.

[2] Zuerst beschrieben in S. RÖSCH, Physik. Z. **29**, 90 (1928). Hersteller: C. Zeiss, Jena.

band ($^6/_7$): man erhält auf beiden Scheiben die gleichen zwei Kantenspektren, doch in verschiedener Stellung; die Mitte ist im ersten Falle zu Weiß geworden, ohne eine Spur Grün, im anderen Falle erscheint ein rein schwarzes Mittelgebiet.

Die Anordnung der Scheiben[1] läßt noch mancherlei Varianten zu. So könnte man den spektralen Verhältnissen bei ruhender Scheibe sich noch mehr nähern, wenn man statt der 7 getrennten Farben stetige Übergänge darstellte; doch würde dies keinen Vorteil bringen, da die Stetigkeit beim Rotieren ja bereits durch das allmähliche Zu- und Abnehmen jedes Farbsektors erhalten wird. Man kann umgekehrt sogar die Farbfolge vereinfachen, bis nur noch 3 passend gewählte Pigmente[2] übrig sind, aus denen sich alle Erscheinungen, mit kleiner Sättigungseinbuße bei einigen Farben, ebenso schön gewinnen lassen. Die Grenzkurven der Schwarzgebiete müßten dann aber umständlicher berechnet werden. Deshalb, und wegen der klaren Anschaulichkeit der Entstehungsweise der Optimalfarben, wurde hier jedoch die beschriebene Siebenzahl gewählt. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Buntscheibe für sich und die Schwarzteile als darübersetzbare Masken getrennt herzustellen; dies läßt noch gewisse Bewegungsfreiheit der Teile gegeneinander. Auch in dieser Art können die Scheiben bezogen werden; die technische Herstellung ist für jeden Fall möglich. Ähnliche Scheiben mit Schwarzmasken hat übrigens vor mehreren Jahren KIRSCHMANN[1] schon hergestellt; deren Anordnung zeigt ähnliche, doch mehr zufällige Farbreihen, das Prinzip ist aber das gleiche.

[1] Sie sind mit 200 und mit 400 mm Durchmesser von der Firma E. Zimmermann, Leipzig, zu beziehen.

[2] Die Scheiben wären dann mit denen vergleichbar, die ich im Zbl. Min. A **1928**, 396—399 und Fortschr. Min. **13**, 58—60 (1929) [siehe auch Naturwiss. **16**, 1093 (1928)] angab; diese geben beliebige Interferenzfarben und auch die Spektralfarben, aus 3 Eichfarben gemischt, wieder. Sie sind ebenfalls bei E. Zimmermann, Leipzig, erhältlich.

[1] A. KIRSCHMANN, s. Liste 50 der Firma E. Zimmermann, Leipzig, Nr. 235—236 (1928) (auch schon 1922 in Liste 34).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich. Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *kurzen Originalmitteilungen* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer raschen Veröffentlichung an dieser Stelle zu *begründen*, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken. Bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Dispersion von Aluminium im Gebiet von 1,1—2,3 ÅE.

Im Rahmen einer größeren Arbeit über die sog. Totalreflexion der Röntgenstrahlen wurde die Dispersion von Aluminium in einem bisher noch nicht näher untersuchten Gebiet bestimmt. Die Ergebnisse werden jetzt schon mitgeteilt, damit sie mit anschließenden Messungen von SCHÖN[1] und einigen vereinzelten Messungen von DAVIS-SLACK[2] verglichen werden können. — Weißes Röntgenlicht fällt durch zwei Spalte auf einen Kalkspatkrystall, wird dort monochromatisiert und wiederum auf Bruchteile von Millimetern ausgeblendet. Der monochromatische Strahl fällt dann auf den Al-Spiegel und wird dort totalreflektiert. Der Spiegel wird durch einen bestimmten Winkelbereich kontinuierlich gedreht. Die Aufnahmen liefern dann neben dem direkten Strahl ein kontinuierliches Schwärzungsband, das ausphotometriert wird. Mit Hilfe gleichzeitig aufgenommener Schwärzungsmarken wird auf Intensität umgerechnet. Theoretisch wird der Brechungsindex nach der vereinfachten DRUDE-LORENTZ-Formel unter Vernachlässigung der Absorptionskante berechnet. Der Abfall an der Grenze der Totalreflexion kann mittels der von F. JENTZSCH[3] abgeleiteten und an Ag von E. NÄHRING[4] geprüften Formel genau bestimmt werden.

Es ergeben sich folgende Werte:

	λ	$\bar{\varphi}$	$\delta_{exp.} \cdot 10^6$	$\delta_{ber.} \cdot 10^6$
$WL\gamma_1$	1,095 ÅE	9'48'' ± 8''	4,1 ± 0,1	4,22
$WL\alpha_1$	1,473	13'12'' ± 3''	7,4 ± 0,1	7,64
$CuK\alpha_1$	1,573	14'6'' ± 2''	8,4 ± 0,1	8,32
$CrK\alpha_1$	2,285	21'0'' ± 5''	18,7 ± 0,1	18,38

$\bar{\varphi}$ Grenzwinkel der Totalreflexion. $\bar{\varphi} = \sqrt{2\,\delta}$.

[1] SCHÖN, Z. Physik **58**, 165 (1929).

[2] DAVIS-SLACK, Physic. Rev. (2) **27**, 796 (1926).

[3] JENTZSCH, Physik. Z. **30**, 268 (1929).

[4] NÄHRING, Physik. Z. **31**, 799 (1930).

Ein von DAVIS-SLACK für $\lambda = 1{,}537$ ÅE bestimmter Wert durch Ablenkung durch ein Prisma ergibt sich ebenfalls zu $8{,}4 \cdot 10^{-6}$. Der Dispersionsverlauf von Al ist also in dem Untersuchungsgebiet normal.

Jena, Institut für angewandte Optik, den 1. Juni 1931. H. STEPS.

Richtungsverteilung der von polarisiertem Licht im Kaliumdampf ausgelösten Elektronen.

Mit Hilfe der Wellenmechanik ist die Richtungsverteilung der am freien, wasserstoffähnlichen Atom durch polarisiertes Licht ausgelösten Elektronen berechnet worden[1]. In Richtung des elektrischen Vektors liegt das Maximum der Elektronenemission, für jede andere Richtung ist dieser Maximalwert mit dem Cosinusquadrat des zwischen elektrischem Vektor und untersuchter Richtung eingeschlossenen Winkels zu multiplizieren. Die Richtungsverteilung ist im Gebiete der Röntgenstrahlen das Ziel zahlreicher Untersuchungen geworden. Im optischen Wellenlängenbereich liegt dagegen bisher nur eine kurze Mitteilung von E. O. LAWRENCE und M. A. CHAFFEE[2] vor, die besagt, daß die Elektronenemission in Richtung des elektrischen Vektors doppelt so groß ist als senkrecht dazu.

Die vorliegenden Versuche wurden mit Kaliumdampf ausgeführt, weil dieser eine verhältnismäßig langwellige Grenze für die Ionisation und bei nicht allzu hohen Temperaturen genügende Dampfdichte aufweist. Vor allem ist das Kaliumatom als wasserstoffähnlich zu betrachten. Die Versuche werden mit der in Fig. 1 im Prinzip dargestellten Anordnung durchgeführt.

Der Kaliumatomstrahl geht aus von einem etwa 300° C heißen Ofen, wird durch eine wassergekühlte Blende geometrisch definiert und in einem mit flüssiger

[1] G. WENTZEL, Z. Physik **40**, 574 (1927).

[2] E. O. LAWRENCE und M. A. CHAFFEE, Physic. Rev. (2) **36**, 1099 (1930).

Luft gekühlten Trichter aufgefangen. Da die Wärmekapazität des Ofens (etwa 1100 g Kupfer) sehr groß ist, kann die Ofentemperatur und damit die Atomstrahlintensität sehr gut konstant gehalten werden.

Der Atomstrahl wird senkrecht von einem polarisierten Lichtstrahl getroffen. Als Lichtquelle dient eine gewöhnliche Heraeus-Quarzquecksilberlampe, die in einem Wasserstrom steht und bis 15 Amp. belastet werden kann. Als Polarisator wird ein GLANSches

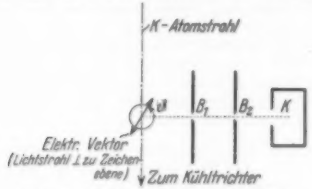


Fig. 1. Prinzip der Anordnung.

Prisma mit Luftzwischenschicht in parallelem Strahlengang zwischen zwei Quarzlinsen verwendet. Die Linse nach dem Polarisator ist aus geschmolzenem, nicht drehendem Quarzgut geschliffen.

Die Richtung, in der die Photoelektronen aufgefangen werden (durch die festen Blenden B_1 und B_2 bestimmt), steht senkrecht zum Lichtstrahl und zum Atomstrahl an der Stelle, wo diese sich durchdringen. Der Elektronenauffänger, Käfig K, ist mit einem empfindlichen Comptonelektrometer verbunden, dessen Aufladung gemessen wird. Dreht man die Richtung des elektrischen Vektors so, daß der Winkel ϑ die Werte von 0° bis 360° durchläuft, so erhält man die Richtungsverteilung der transversal zum Lichtstrahl ausgelösten Elektronen.

In Fig. 2 ist die Kurve, welche die theoretisch berechnete Richtungsverteilung ergibt, ausgezogen. Die mit o und × bzw. △ bezeichneten Punkte entsprechen experimentell gefundenen Werten. Sie sind mit verschiedenen Merkmalen gekennzeichnet, weil sie drei verschiedenen Versuchsreihen entstammen, zwischen denen wegen eines Bruchs ein teilweiser Neuaufbau der Apparatur notwendig wurde. ***Die Versuchspunkte streuen um die theoretische Kurve, ohne eine prinzipielle Abweichung von dieser erkennen zu lassen.*** Nähere Angaben über die Versuchsanordnung und über die Kritik der Versuchsergebnisse folgen in einer ausführlichen Veröffentlichung.

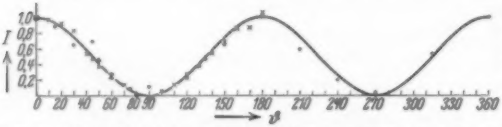


Fig. 2. Theoretisch berechnete Richtungsverteilungskurve und Versuchspunkte.

Es ist geplant, die Abhängigkeit der Richtungsverteilung von der Geschwindigkeit der Photoelektronen zu untersuchen.

Danzig-Langfuhr, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, den 1. Juni 1931. A. KRAUS.

Bemerkung zur Arbeit von B. Lange über die spektrale Empfindlichkeit von Sperrschicht-Photozellen.

In Naturwiss. H. 23/24 veröffentlicht B. LANGE, Berlin-Dahlem, Untersuchungen über die spektrale Empfindlichkeit von Sperrschicht-Photozellen und erwähnt als besonders empfindliche Zelle eine solche, die als lichtelektrisches Material Selen enthält. Da eine von mir in der Physik. Z. **1931**, H. 7, 286, also an allgemein zugänglicher Stelle, erschienene Arbeit nicht zitiert ist, möchte ich an dieser Stelle darauf hinweisen, daß ich in der genannten Arbeit erstmalig über eine Selen-Sperrschicht-Photozelle berichtet habe. Ich habe dort auch die spektrale Empfindlichkeit sowie die Temperaturabhängigkeit des Photoeffektes angegeben und auf die wesentlich höhere Empfindlichkeit der Selen-Sperrschicht-Photozelle gegenüber den Kupferoxydulsperrschichtzellen hingewiesen. Die betreffenden Versuche wurden in Zusammenarbeit mit der Süddeutschen Apparatefabrik Nürnberg bereits 1930 ausgeführt und werden zur Zeit fortgesetzt. Von der genannten Firma, der die Herstellung eines lichtelektrisch besonders wirksamen Selens patentlich geschützt ist, werden in nächster Zeit Selen-Sperrschicht-Photozellen in den Handel gebracht werden. Da Herr B. LANGE in seiner Arbeit erwähnt, bereits in einem nicht veröffentlichten Vortrag am 18. Dezember 1930 auf diese Zellen hingewiesen zu haben, werde ich in Kürze über die nicht uninteressante Entwicklungsgeschichte dieser Zellen an anderer Stelle berichten.

Breslau, Physikalisches Institut der Universität, den 10. Juni 1931. LUDWIG BERGMANN.

Über die homogenen Gruppen der weitreichenden α-Teilchen beim Radium C.

Im Juni-Heft des Proc. roy. Soc. Lond. A **131**, 684 ist eine Arbeit von Lord RUTHERFORD, WARD und LEWIS unter dem Titel „Analysis of the long range α-particles from Radium C'" erschienen. In dieser Arbeit werden beim Radium C nach einer sehr empfindlichen Differentialmethode[1] 6 Gruppen weitreichender α-Strahlen gefunden. Aus einer Analyse der experimentellen Verteilungskurve schließen die Verff. auf 9 homogene Reichweitegruppen, die sich bei der benutzten experimentellen Anordnung überlagern. Bei dem Interesse, das unter dem Einfluß der GAMOWschen Deutung der weitreichenden α-Strahlen diesem Befunde entgegenzubringen ist, darf vielleicht darauf verwiesen werden, daß nach der WILSONschen Nebelmethode, also einer ganz anderen Methode, vor einigen Jahren

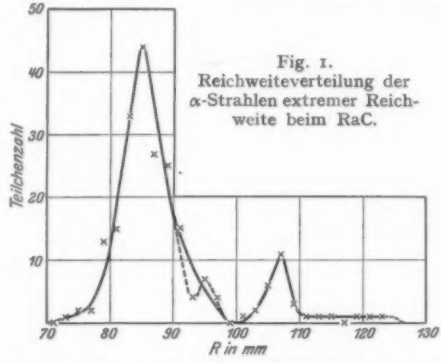


Fig. 1. Reichweiteverteilung der α-Strahlen extremer Reichweite beim RaC.

[1] RUTHERFORD, WARD u. WYNN-WILLIAMS, Proc. roy. Soc. Lond. A **129**, 211 (1930).

bereits mehrere Gruppen solcher α-Strahlen nachgewiesen werden konnten[1]. Die damals veröffentlichte Reichweiteverteilungskurve ist hier unverändert abgebildet. Die direkt beobachteten Meßpunkte lassen auf 4 Gruppen von Reichweiten schließen. Wegen der geringen Intensität wurde die Gruppe bei etwa 10 cm Reichweite nur durch den gestrichelten Kurvenzug angezeigt. In der Diskussion wurde die Frage offen gelassen, ob es sich tatsächlich um eine neue Gruppe handelt, oder ob sie durch nicht übersehbare Versuchsfehler vorgetäuscht sei. Die Gruppe von etwa 12 cm Reichweite wurde als gesichert in den ausgezogenen Kurvenzug mit einbezogen, wobei wegen der geringen Intensität nicht zu entscheiden war, ob diese Gruppe homogen ist. Es sind also hier schon 4 Gruppen aufgefunden worden, die durch die sehr viel besser belegten Kurven von RUTHERFORD und Mitarbeitern als reell bewiesen worden sind. Die von uns angegebenen Reichweiten und relativen Intensitäten lassen sich gut in die neuesten Ergebnisse der englischen Forscher einordnen.

[1] K. PHILIPP u. K. DONAT, Z. Physik **52**, 759 (1929).

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, physikalisch-radioaktive Abteilung, den 20. Juni 1931.

K. PHILIPP.

Besprechungen.

Hermann Wagner-Gedächtnisschrift. Ergebnisse und Aufgaben geographischer Forschung. Dargestellt von Schülern, Freunden und Verehrern des Altmeisters der deutschen Geographen. Gotha: Justus Perthes 1930. 391 S., 1 Titelbild, 13 Abb. und 7 Tafeln. 19×28 cm. Preis geh. RM 42.—, geb. RM 45.—.

Eigentlich war dieses Werk als Festschrift zum 90jähr. Geburtstag des langjährigen Seniors der Geographie gedacht; der plötzliche Tod HERMANN WAGNERS kurz vor Erreichen seines 89. Lebensjahres ließ die geplante Festschrift zu einer Gedächtnisschrift werden. Der Plan des Werkes war insofern abweichend von den üblichen Sammelschriften ähnlichen Charakters, als man einerseits zwar nicht ein zufälliges Nebeneinander von zufällig zum vorgeschriebenen Termin fertigen Arbeiten wollte, andererseits aber auch die Mitarbeiter nicht zwang, sich mit ihren Aufsätzen in einen ihnen vielleicht nicht zusagenden Rahmen zu fügen. Der Bedeutung HERMANN WAGNERS, der insbesondere durch sein Lehrbuch jahre- und jahrzehntelang die Geographie in maßgebender Weise beeinflußt hat und als dessen Schüler sich auf dem Umwege über das Lehrbuch fast alle deutschen Geographen bezeichnen dürfen, entsprach es, wenn man statt des bisher Üblichen ein Werk schuf, das den gesamten Inhalt der heutigen geographischen Forschung widerspiegelte. In der Weise, daß jeder der zur Mitarbeit Aufgeforderten ein Thema aus seinem eigenen Forschungsgebiet, in dem er also als der beste Sachkenner gelten durfte, behandelte, um daran zu zeigen, wie der augenblickliche Stand der Forschung ist und wo die Zukunftsmöglichkeiten liegen. Mit dieser Problemstellung war es verbunden, daß der Herausgeber, WILHELM MEINARDUS, Göttingen, die Auswahl der Mitarbeiter nicht auf den engeren Schüler- und Freundeskreis beschränkte, sondern neben diesen engeren Freunden fast alle seit längerem selbständig tätigen Geographen zur Mitarbeit aufforderte, ohne Rücksicht auf die mehr oder weniger nahe Verwandtschaft ihrer Forschungsrichtung zu der HERMANN WAGNERS. Wenn auch einige der aufgeforderten Geographen, vorwiegend aus Gründen der Arbeitsüberlastung, sich der Mitarbeit versagen mußten, so hat doch, wie man aus den Namen der Mitarbeiter erkennt, die große Mehrzahl der deutschen Geographen den Leitgedanken freudig aufgegriffen.

In dem absichtlich kurz gehaltenen Hauptteil „Methodik und Aufgaben der Geographie" — der geographische Methodenstreit nimmt ohnehin in den geographischen Fachzeitschriften einen großen Raum ein — äußert sich NORBERT KREBS, Berlin, über eine Frage, die HERMANN WAGNER stets besonders nahegelegen hat, über „Maß und Zahl in der physischen Geographie". OTTO JESSEN, Köln, schreibt über den „Vergleich als ein Mittel geographischer Schilderung und Forschung". Er behandelt damit eine Forschungsmethode, die in der Geographie den Ersatz für das meist nicht in Frage kommende Laboratoriumsexperiment darstellt und die, nachdem sie in früherer Zeit nicht immer mit der nötigen Beobachtungskritik benutzt worden und lange fast in Verruf gewesen war, erst in jüngerer Zeit wieder in ihrer großen Bedeutung für die geographischen Forschung erkannt und angewendet worden ist. In einem Aufsatz über „Wesen, Aufgaben und Grenzen der Landschaftskunde" stellt SIEGFRIED PASSARGE, Hamburg, den neuesten Stand landschaftskundlicher Problematik dar.

Der wissenschaftlichen „Kartographie", der ein Teil des Lebenswerkes von HERMANN WAGNER gegolten hat, sind die Aufsätze von ALBERT HERRMANN, Berlin (Marinus von Tyrus), KONRAD KRETSCHMER, Berlin (Die mittelalterliche Weltkarte nach Anlage und Herkunft), KARL SAPPER, Würzburg (Der gegenwärtige Stand der kartographischen Darstellung Mittelamerikas) und MAX ECKERT, Aachen (Die Kartenwissenschaft als Lehrfach) gewidmet.

Ausführlicher ist, entsprechend einer vorherrschenden Arbeitsrichtung in der Geographie, der Hauptteil „Physische Geographie", zu dem, zum Teil sicher mit Rücksicht auf die Einstellung WAGNERS, auch die „Geophysik" hinzugenommen worden ist. ERNST TAMS, Hamburg, gibt den neuesten Stand unserer Kenntnis von der „Konstitution der Erdrinde", HEINRICH SCHMITTHENNER, Leipzig, eine Zusammenfassung der „Probleme der Stufenlandschaft", denen der Verf. jahrelang Forschungen gewidmet hat und die er wohl, von Kleinigkeiten abgesehen, zu einer ziemlich endgültigen Klärung geführt hat. WALTER BEHRMANN, Frankfurt a. M., entwickelt in zusammenfassender Darstellung und unter ausgiebiger Heranziehung der Literatur seine im wesentlichen auf dem Studium von Terrassen aufgebauten Anschauungen über „die diluvialen Bewegungen des mitteldeutschen Bodens". Ebenfalls ein Thema der regionalen Morphologie behandelt der bekannte Afrikaforscher FRITZ JAEGER, Basel, in seinem Beitrag „Probleme der Großformen Afrikas". Weniger regional als wiederum allgemeinmorphologisch, und zwar nach der klimatisch-morphologischen Seite hin orientiert sind der Beitrag von HANS MORTENSEN, Freiburg i. Br., „Einige Oberflächenformen in Chile und auf Spitzbergen im Rahmen einer vergleichenden Morphologie der Klimazonen", der sich auch mit der Deutung gewisser Vorzeitformen in Deutschland auseinandersetzt, von ERICH v. DRYGALSKI, München, über „Die Gliederung der Eisformen" und die Ausführungen von FRITZ KLUTE, Gießen, über „Die Verschiebung der Klimagebiete der letzten Eiszeit", in denen KLUTE seine zum Teil bereits früher veröffent-

lichten Anschauungen mit den neuesten Arbeiten zu diesem Problem vergleicht. Bruno Schulz, Hamburg, gibt eine Darstellung über den „Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee", und Hermann Thorade, Hamburg, behandelt in einem geschichtlichen Rückblick den neuesten Stand der Erforschung von Ebbe und Flut in der Nordsee, ein Beitrag, der darüber hinaus für die Erkenntnis der Gezeiten in den Randmeeren von Bedeutung ist. Daß in diesem Hauptteil die so sehr wichtige Hochgebirgsmorphologie nicht behandelt ist, ist an sich zu bedauern, hat jedoch seinen Grund darin, daß gerade hier die beiden in erster Linie in Frage kommenden Mitarbeiter ihre gegebene Zusage wegen Arbeitsüberlastung zurückzogen.

Nicht weniger umfangreich als der Hauptteil über die physische Geographie ist, im Zusammenhang mit der in den letzten Jahren bemerkbar gewordenen größeren Pflege siedlungs-, wirtschafts- und politisch-geographischer Probleme, der Hauptteil „Anthropogeographie". Hans Plischke, Göttingen, behandelt, zum großen Teil am Beispiele der Eskimos, die Frage, wieweit die durch die Europäer in der Lebenshaltung der Naturvölker bewirkten Umwandlungen Forschungsgebiet der Völkerkunde sind („Die Naturvölker in der Europäerzeit und die Völkerkunde"), während Georg Friederici, Ahrensburg, den „Grad der Durchdringbarkeit Nordamerikas im Zeitalter der Entdeckungen und ersten Durchforschung des Kontinents durch die Europäer" aus einem reichen Material rekonstruiert. Rein geographisch sind wiederum die Ausführungen von Max Hannemann, Frankfurt a. M., über „Negerprobleme in den Vereinigten Staaten", in denen insbesondere die bekannte ganz neuerliche Verschiebung der Neger aus den Süd- in die Nordoststaaten einer genauen Untersuchung unterzogen wird. Eine für die Abgrenzung der Geographie gegen die Nachbarwissenschaften wichtige Frage schneidet unter Beibringung zahlreicher Einzelbeispiele Eugen Oberhummer, Wien, in seinem Aufsatz „Geographie und Sprachenkunde" an. Auf Grund langjähriger Erfahrungen legt Ernst Tiessen, Berlin, „Die wesentlichen Forderungen an wirtschaftsgeographische Karten" dar. Nikolaus Creutzburg, Danzig, behandelt die Frage, wieweit die menschliche Wirtschaft das Landschaftsbild in den verschiedenen Klima- und Vegetationsgürteln maßgeblich beeinflußt. Der Agrargeograph Hinrich Engelbrecht, Obendeich, schreibt über „Die Landbauzonen der Erde", während sich Otto Schlüter, Halle, mit den „Aufgaben der Verkehrsgeographie im Rahmen der ‚reinen' Geographie" beschäftigt. Hans Dörries, Göttingen, legt in umfassender Darstellung und unter Ausbreitung einer zum großen Teil bisher versteckt gewesenen Literatur den „gegenwärtigen Stand der Stadtgeographie" dar, ein Aufsatz, dem sich der Beitrag von Ludwig Mecking, Münster, „Die Seehäfen in der geographischen Forschung" harmonisch anschließt. Die Ausführungen von Walther Vogel, Berlin, über „Stand und Aufgaben der historisch-geographischen Forschung in Deutschland" bilden die sinngemäße Ergänzung zu den beiden vorherigen Beiträgen.

Gegenüber diesen bisherigen allgemein-geographischen Aufsätzen kommt der die „Länderforschung" behandelnde Hauptteil eigentlich etwas kurz weg. Zum Teil liegt das sicher daran, daß die Herausarbeitung länderkundlicher Zusammenhänge, obwohl nach Ansicht aller Geographen das Endziel der geographischen Wissenschaft, auch in unseren besten länderkundlichen Werken fast ausnahmslos mehr als Sache der Darstellung als der wirklichen analytischen Forschung betrachtet zu werden pflegt; die eigentliche Forschung ist in der Regel immer noch auf die Bausteine der Länderkunde, d. h. auf die verschiedenen Teildisziplinen beschränkt. In vorliegendem Werke kommt allerdings wohl noch hinzu, daß die allgemein-geographischen Probleme stärker auf das Interesse der Gesamtheit der Geographen rechnen dürfen als speziell länderkundliche und somit mehr lokal interessierende Themen. Max Friederichsen, Breslau, behandelt „Schlesiens Lage", Hermann Lautensach, Gießen, „Stand und Aufgaben der Landeskunde von Portugal" und der Japankenner Karl Haushofer, München, in einem allerdings kaum mehr länderkundlichen Beitrag die „Geographische Auswertung der heutigen Japankunde".

Überschauen wir nach dieser kurzen Inhaltsangabe das Werk noch einmal, so erkennen wir nicht nur den riesenhaften Umfang des Gesamtgebietes der Geographie, sondern sehen auch, daß die auf den ersten Anblick vielleicht heterogen erscheinenden Themen sich doch zu einem großen Ganzen zusammenschließen und daß das Werk wirklich das geworden ist, was dem Herausgeber vorgeschwebt hat. Wenn auch natürlich hier kein systematischer Überblick über die gesamte Geographie entstehen konnte, so ist es doch ein Werk, das für lange Zeit grundlegend und anregend zu bleiben verspricht und das auch dem Außenstehenden ein Bild gibt, woran man im Augenblick in der deutschen geographischen Wissenschaft arbeitet. Mit Ausnahme weniger, im Rahmen des Gesamtwerkes nicht allzu fühlbarer Lücken haben wir mit dieser Gedächtnisschrift in der Tat einen Querschnitt durch die heutige deutsche geographische Forschung. Die Wissenschaft muß dem Herausgeber Wilhelm Meinardus und dem Verlage Justus Perthes für das Zustandebringen und auch für die würdige Ausstattung dieses schönen und einzigartigen Werkes dankbar sein.

H. Mortensen, Freiburg i. Br.

DEFANT, A., **Dynamische Ozeanographie.** Einführung in die Geophysik III, Sammlung Naturwissenschaftlicher Monographien und Lehrbücher 9. Band, hrsg. v. d. Schriftleitung der „Naturwissenschaften". Berlin: Julius Springer 1929. X, 222 S. und 87 Abbildungen. 16×24 cm. Preis geh. RM 18.—, geb. RM 19.80.

Seit der vor 20 Jahren erschienenen und inzwischen längst vergriffenen Bearbeitung des ozeanographischen Beobachtungsmaterials in dem zweibändigen Handbuch der Ozeanographie von O. Krümmel haben sich unsere Kenntnisse des Aufbaues und der Bewegung der Ozeane durch zahlreiche größere und kleinere Forschungsreisen und Einzeluntersuchungen außerordentlich erweitert. Vor allem aber ist der Einblick in die Gesetzmäßigkeiten und inneren Zusammenhänge der Erscheinungen sehr vertieft und dank der technischen Entwicklung und größeren Genauigkeit der Beobachtungsmethoden auch ein Material gewonnen worden, das der strengen analytischen Behandlung und Bearbeitung mehr stand hält als die früheren Beobachtungsdaten.

Eine moderne systematische Darstellung der neueren Beobachtungsergebnisse, die mehr als eine erweiterte Neuherausgabe des Krümmelschen Handbuches sein müßte, steht noch aus und wäre sehr zu wünschen. Für die Theorie dagegen hat uns Defant nunmehr in seiner „Dynamischen Ozeanographie" eine außerordentlich klare und, wenigstens für das Gebiet der Meeresströmungen und der großen ozeanischen Zirkulation, erschöpfende Darstellung geschenkt, die ohne Zweifel um so größeren Einfluß auf die Entwicklung des gesamten Gebietes haben wird, als sie bis jetzt (von einer kleineren norwegischen Behandlung in der „Fysisk

Geografi" von WERENSKIOLD abgesehen) nicht allein in deutscher Sprache, sondern überhaupt die einzige *theoretische Ozeanographie* ist. Dabei muß sofort als ein ganz besonderer Vorzug der DEFANTschen Arbeit hervorgehoben werden, daß sie, wo immer das vorhandene Beobachtungsmaterial dies erlaubt, die Ergebnisse der Theorie stets unmittelbar auf die Wirklichkeit anwendet und an der Wirklichkeit prüft. In dieser Beziehung stand und steht ja gerade dem Verfasser als dem Bearbeiter der reichen Beobachtungsergebnisse der „Meteor"-Expedition zur Zeit mehr Material zur Verfügung als irgendeinem anderen Ozeanographen der Welt.

Man kann nicht von vielen solchen erstmaligen Darstellungen eines bisher systematisch nicht bearbeiteten Wissensgebietes sagen, daß gleich der erste Wurf etwas Vollendetes schafft. DEFANT ist dies gelungen, er hat nicht nur die vorhandenen von EKMAN, HELLAND-HANSEN, NANSEN, SANDSTRÖM, BJERKNES und SVERDRUP — wie man sieht, lauter Skandinavier, denen das Buch auch gewidmet ist — stammenden in zahlreichen Einzelabhandlungen verstreuten Theorien der Meeresströmungen systematisch zusammengefaßt, da und dort noch auftretende Lücken ausfüllend, sondern er hat in einheitlichem Guß eine Kinematik und Dynamik der Ozeane geschrieben, die auf homogene und geschichtete Ozeane, auf die äußeren und inneren Kraftfelder anzuwenden ist und das Beobachtungsmaterial theoretisch zu beherrschen gestattet. Es ist dem Verfasser zweifellos sehr zu statten gekommen, daß sein Weg zur Ozeanographie von der Meteorologie her führte, wo alle diese Probleme bereits seit längerer Zeit ihre theoretische Behandlung gefunden haben.

Da die Wellenbewegungen im Meere und die Gezeiten in Meeren, Randmeeren und Buchten sowie in Binnenmeeren bereits an verschiedenen anderen Stellen ausführlich und systematisch dargestellt sind, ist dieses Gebiet in der „Dynamischen Ozeanographie" kürzer behandelt, aber doch so, daß alles Wesentliche für Theorie und Anwendung zu finden ist.

Für die Analogien zur Atmosphäre, insbesondere die auffallende Parallelität zwischen atmosphärischer und ozeanischer Troposphäre und Stratosphäre, wäre eine Theorie der ozeanischen Stratosphäre erwünscht. Vielleicht erlauben die in gewissem Sinne einfacheren Verhältnisse des Meereswassers eine Überwindung der Schwierigkeiten, in welche die atmosphärische Theorie der Stratosphäre in der letzten Zeit geraten ist.

L. WEICKMANN, Leipzig.

WEGENER, ALFRED, **Mit Motorboot und Schlitten in Grönland.** Mit Beiträgen von JOHANNES GEORGI, FRITZ LOEWE und ERNST SORGE. Bielefeld u. Leipzig: Velhagen & Klasing 1930. IV, 192 S., 73 Abb. und 1 Karte. 15×22 cm. Preis geb. RM 7.—.

Eine für weite Kreise berechnete, frisch und spannend geschriebene Schilderung der 1929 ausgeführten Erkundungsexpedition nach dem mittleren Teile von Westgrönland, welche den Vorbereitungen und Vorarbeiten für die Deutsche Inlandeis-Expedition der Jahre 1930 und 1931 gewidmet war. Über die Expedition selbst, ihren Verlauf und ihre wissenschaftlichen Ergebnisse, insbesondere die Vorstöße auf das Inlandeis und die Messung von dessen Dicke nach der seismometrischen Methode, sowie die Erstbesteigung des Umanak-Gipfels, ist bereits in dieser Zeitschrift [18, H. 7, 162—163 (1930)] berichtet worden, so daß hier nur einige weitere Beobachtungsergebnisse mitgeteilt seien.

Auf dem Inlandeise näherte man sich einer eigentümlichen verwaschenen Fläche, die unter den Strahlen der Mitternachtssonne einen wundervollen rotgoldenen Glanz zurückwarf. Als man hineinkam, entpuppte sich die Erscheinung als Schneefegen, eine nur $^1/_2$ m hohe Schicht vom Winde fortgeführten Schnees. Diese mitfließende Schneeschicht lag wie eine dünne Watteschicht über der festen Schneeoberfläche und verhüllte sie für den Anblick aus der Ferne.

Die steilen Felswände des Umanak-Distriktes bestehen aus Paragneis, offenbar alte Sedimentgesteine, deren Einschmelzung zu Gneis zwar im Gange war, aber nicht beendet wurde. Die Schichtung ist überall noch gut erhalten, und man sieht schon an der Farbe, was einstmals Tonschiefer, was Sandstein und was Kalkstein gewesen ist. Sogar die Fossilien haben noch Spuren hinterlassen, sind aber durch die Einschmelzung zerstört worden. An vielen Stellen lassen sich an dem schlierenartigen Verlauf mancher Zwischenschichten und anderen Anzeichen erkennen, daß sie wirklich geschmolzen waren. Aber die Temperatur kann den Schmelzpunkt doch nicht weit überschritten haben, denn in diesen Schichten mit Fließstruktur stecken oft kantige Blöcke aus dem etwas schwerer schmelzbaren Gestein der Nachbarschichten. Auf der aperen Zunge eines, in den Kangerdluk-Fjord mündenden Gletschers wurden interessante Abschmelzerscheinungen beobachtet, nämlich große, $^3/_4$ m tiefe wassergefüllte Mittagslöcher von regelmäßiger halbmondförmiger Gestalt. Bisweilen waren sie zu größeren Teichen ausgeartet, deren auffallend ebener Boden zu der übrigen unebenen Eisoberfläche in sonderbarem Gegensatz stand. Drastische Irrtümer verursachte die bei bedecktem Himmel vorhandene gleichmäßige Beleuchtung, welche durch das Fehlen jeden Schattens auf dem Inlandeise das Erkennen der Unebenheiten des Bodens erschwerte und allerlei Halluzinationen hervorrief.

Am Endpunkt der Hundeschlittenreise auf dem Inlandeise in 2500 m Höhe betrug am 31. August 1929 die Temperatur an der Oberfläche des Firns — 12°, in $2^1/_2$ m Tiefe — 16,7°. Die Dichte nahm mit der Tiefe von 0,29 auf 0,32 zu. Die Eiszungen der lokalen Vergletscherung auf der Nordseite der Nugsuak-Halbinsel waren seit 1891, als ich dieselben zusammen mit E. VON DRYGALSKI besucht hatte, stark zurückgegangen. Der Jacobshavn-Eisstrom, ein Ausläufer des Inlandeises, schiebt jährlich etwa 20000 Millionen Tonnen Eis in das Meer.

Es würde zu weit führen auch auf die Föhnstürme, Kalbungswellen der Gletscher und Eisberge, Eislawinen, Bergstürze, Ausbruch eines Gletschersees und andere Naturkatastrophen einzugehen, denen die Reisenden stets glücklich entronnen sind.

Auch auf das sympathische Naturvolk der Eskimo und ihre, den harten Naturverhältnissen angepaßte Lebensweise fallen interessante Streiflichter.

Die prächtige, vielfach durch Humor gewürzte Schilderung findet eine willkommene Ergänzung durch zahlreiche photographische Abbildungen, welche teils Szenen aus dem Expeditionsleben darstellen, teils die grandiose Natur des Landes in typischen Landschaftsaufnahmen veranschaulichen. O. BASCHIN, Berlin.

HORN, GUNNAR, **Franz Josef Land.** Natural history, discovery, exploration, and hunting. (Skrifter om Svalbard og Ishavet Nr. 29.) Oslo, Norges Svalbard- og Ishavs-Undersøkelser, Leder: Adolf Hoel. 1930. 54 S. und 1 Kartentafel. Preis Kr. 5.00.

Eine vorzügliche Monographie über den nördlichsten Archipel der Erde, der aus etwa 75 Inseln besteht und 20000 qkm umfaßt. Die Vergletscherung der tafelbergförmigen Inseln, die im Süden bis 800 m Höhe erreichen, soll in den letzten 2 Jahrzehnten etwas geringer geworden sein. Wärmster Monat ist der Juli mit 1,3°,

kältester der Januar mit — 26,5° Mitteltemperatur. Die absoluten Extreme waren 12,0 und — 46,2°. Die Niederschlagshöhe beträgt im Norden etwa 300, im Süden 500 mm. Der geologische Bau besteht aus ziemlich horizontal gelagerten jurassischen Schichten, die von basaltischen Laven aus dem Übergang von Jura- zur Kreidezeit überdeckt werden. Die Zerstückelung ist durch Denudation, vielleicht auch durch Bruchbildung und Senkung einzelner Schollen erfolgt.

Nur 27 Blütenpflanzen und 25 Moose, aber zahlreiche Flechten sind bisher gesammelt worden. Eisbären, Walrosse, Seehunde und Weißwale kommen häufig, Füchse selten vor. Von Rentieren hat man bisher nur Geweihe gefunden.

Der Hauptteil des Werkes ist der Erforschungsgeschichte gewidmet. Die Gruppe wurde 1865 von dem norwegischen Seehundsfänger N. F. Rønnbeck auf dem Schoner „Spidsbergen" gesichtet und von ihm Nordost-Spitzbergen genannt. Aber diese Entdeckung blieb unbeachtet, und erst die Wiederauffindung und Erforschung durch die Österreichisch-Ungarische Polarexpedition auf dem Dampfer „Tegetthoff" unter K. Weyprecht und J. Payer 1872—1874 erschlossen die Inseln der allgemeinen Kenntnis. In der Folgezeit haben dann bis 1928 nicht weniger als 110 norwegische und 28 andere Expeditionen zu wissenschaftlichen oder Fangzwecken Franz-Josef-Land besucht. Über alle diese Fahrten werden mehr oder weniger ausführliche Angaben gemacht. Besondere Beachtung verdienen die Reisen und Forschungen von Leigh Smith 1880—82, Jackson-Harmsworth 1894—97, Fridtjof Nansen 1895—96, Herzog der Abruzzen 1899—1900, Baldwin-Ziegler 1901—02, Fiala-Ziegler 1903—05 sowie die neueren russischen und norwegischen Expeditionen.

Wenig bekannt geworden ist die Tatsache, daß das italienische Luftschiff „Italia" unter der Führung von U. Nobile auf seiner großen 68stündigen Fahrt von Spitzbergen nach Osten im Mai 1928 die nördlichen Inseln des Archipels überflogen hat.

Das russische Institut zur Erforschung des Nordens entsandte 1929 den Eisbrecher „Ssedow", der an der Westküste der Hooker-Insel in der Tichajabucht im August eine Station errichtete, welche das nördlichste geophysikalische Observatorium der Erde darstellt. Es liegt in 80° 19′ Nord, 52° 48′ Ost und hat eine Wetterfunkstation. Das Personal besteht aus 7 Mann. Der „Ssedow" fand das Königin Viktoria-Meer nordwestlich der Inselgruppe in der zweiten Augusthälfte bis 82° 14′ Nord eisfrei.

Seit seiner Entdeckung galt Franz Josef-Land als „terra nullius" und tatsächlich stand es allen Nationen offen. Erst ein Dekret des Zentral-Exekutiv-Komitees der USSR. vom 15. April 1926 erklärte alle Länder und Inseln, entdeckt oder nicht entdeckt, innerhalb des Nordpol-Sektors nördlich von Rußland und Sibirien als Territorien der russischen Union. Dazu gehört demnach auch Franz-Josef-Land, das dem Gouvernement Archangelsk angegliedert wurde. Trotzdem Norwegen durch eine diplomatische Note vom 19. Dezember 1928 gegen diese Besitzergreifung offiziell protestierte, hat die russische Union durch die Errichtung des Observatoriums, der Funkstation und Aufstellung eines Planes für die Kolonisation der Inseln zu erkennen gegeben, daß es die Annektion aufrecht erhält.

Eine Karte im Maßstab 1 : 1500000 und eine Bibliographie von 237 Nummern bilden den Schluß des überaus gründlich und gewissenhaft bearbeiteten Werkes.

O. Baschin, Berlin.

Botanische Mitteilungen.

Tertiärrelikte der Flora der Balkanländer. Infolge des Umstandes, daß die Balkanhalbinsel von der Eiszeit nur verhältnismäßig wenig berührt worden ist, ist ihre Flora reich an Arten alten Ursprungs, die hier wahrscheinlich schon während der Tertiärzeit gelebt und die ungünstigen Klimaverhältnisse der Diluvialzeit zu überdauern vermocht haben. Einige dieser Arten sind allgemeiner bekannt, so die wildwachsend nur in den Gebirgen von Nord-Griechenland, Thessalien, Epirus und Bulgarien vorkommende Roßkastanie (*Aesculus Hippocastanum*) und die nur in einem beschränkten Bezirk von Serbien, Bosnien und Montenegro sich findende Omorika-Fichte (*Picea omorica*), oder werden doch wenigstens in der pflanzengeographischen Literatur als Beispiele für die Isolierung der Areale solcher alten Sippen häufiger zitiert, wie die in der heutigen europäischen Flora ganz isoliert stehenden, einer sonst hauptsächlich tropischen und subtropischen Familie angehörigen Gesneriaceen-Gattungen *Ramondia* (2 Arten in den Gebirgen Serbiens und Mazedoniens, eine am thessalischen Olymp und eine in den Pyrenäen) und *Haberlea* (monotypisch im Rhodope-Gebirge und im gegenüberliegenden zentralen Balkan). Wie ungemein reich aber dieses tertiäre Reliktelement ist, geht aus einer zusammenfassenden Übersicht über seine Verbreitungsverhältnisse hervor, die N. Stojanoff [Versuch einer Analyse des relikten Elements in der Flora der Balkanhalbinsel, Englers Bot. Jb. **63**, 368 bis 418 (1930)] kürzlich gegeben hat. Aus seinen Ausführungen ergibt sich, daß sich nach dem Charakter und der Zusammensetzung dieser relikten Vegetation drei Hauptbezirke unterscheiden lassen, die von der sonstigen, auf ökologischen und pflanzengesellschaftlichen Gesichtspunkten beruhenden pflanzengeographischen Einteilung des Gebietes nur wenig abhängig sind; von ihnen sind insbesondere der östliche Bezirk, der das Küstengebiet des Schwarzen Meeres bis zur Dobrudscha im Norden und bis zur Mariza im Westen umfaßt, und der westliche, jenseits der Täler des Vardar und der Mariza gelegene scharf individualisiert und durch die Besonderheit der in ihnen sich widerspiegelnden Florenbeziehungen gekennzeichnet. Diese gehen für den westlichen Bezirk, an den sich in dieser Hinsicht auch Griechenland anschließt, nach Kleinasien und den angrenzenden Teilen Vorderasiens hin, wobei die Verbindung, soweit die Areale nicht zu stark zersplittert sind, über den Archipel geschieht und auf die tertiäre Landverbindung zwischen der Balkanhalbinsel und Kleinasien hinweist.

Die Zahl der Arten, die für die Balkanhalbinsel das Zentrum ihrer Verbreitung in deren westlichem Teile haben und nur in den wenigsten Fällen das Vardartal nach Osten hin überschreiten, ist eine überraschend große, und rechtfertigt den von dem Verf. gezogenen Schluß, daß die vorderasiatischen Beziehungen von den entsprechenden des zentralen und des östlichen Bezirkes unabhängig sind; daneben besitzt der westliche Bezirk noch eine Reihe weiterer Charakterpflanzen, die dem Osten ebenfalls fehlen und die zum Teil systematisch isolierte endemische Sippen darstellen (so die obengenannte *Picea omorica*), zum Teil auch auf eine ehemalige Landverbindung der Balkanhalbinsel mit Italien beim Monte Gargano hindeuten oder auch erst zu den weiter westlich gelegenen Ländern Verwandtschaftsbeziehungen aufweisen. Was den östlichen Bezirk angeht, so konzentriert sich hier das Interesse besonders auf das Strandscha-Gebirge, dessen Vegetation und pflanzengeographische Stellung auch von J. Mattfeld [Die pflanzengeographische Stellung Ost-Thrakiens, Verh. Bot. Ver. Prov. Brandenburg **71**, 1—37 (1929)] in

neuerer Zeit erörtert worden sind. Während die Hänge des Gebirges hauptsächlich mit sommergrünem Eichenwald bedeckt sind, in dessen Unterwuchs sich Elemente des nordbalkanischen Eichenwaldgebietes mit solchen der kolchischen Flora mischen, ist der Wald in den geschützten Schluchten und auf den Nord- und Ostflanken der höchsten Gipfel vor allem durch die kaukasische Buche (*Fagus orientalis*) charakterisiert und weist in den Schluchten ein reiches immergrünes Unterholz von *Rhododendron ponticum*, *Prunus Laurocerasus*, *Daphne pontica* und der sonst auch nur in den kolchischen Wäldern vorkommenden Form der Stechpalme *Ilex Aquifolium* var. *angustifolia* auf; auch das dem eigentlichen Schluchtwald fehlende *Vaccinium arctostaphylos* gehört zu den kolchischen Elementen. So schließt sich das Strandscha-Gebirge am nächsten dem das ganze Südufer des Schwarzen Meeres von der eigentlichen Kolchis an umsäumenden kolchischen Bezirk an, den MATTFELD in Übereinstimmung mit HANDEL-MAZZETTI zum Range eines eigenen Florengebietes erhoben sehen möchte; auch STOJANOFF äußert sich im gleichen Sinne, daß besonders der südliche Teil seines östlichen Bezirkes pflanzengeographisch zur Vegetation Westasiens und nicht zur europäischen Pflanzenwelt gehört; MATTFELD vermutet, daß auch die bisher noch unerforschten Steppen des Ergenebeckens einen Ausläufer des anatolischen Steppengebietes darstellen dürften. Mit dem Mittelmeergebiet, dem es bisher zugerechnet wurde, hat Ost-Thrakien weder hinsichtlich seines Klimas noch hinsichtlich seiner Vegetation etwas zu tun; nur als schmaler Saum begleiten die für das Mediterrangebiet bezeichnenden immergrünen Gebüschformationen die Küste des Ägäischen Meeres, auch die Halbinsel Gallipoli wird noch von der Mittelmeerflora eingenommen, die sich dann aber schon an der Küste des Bosporus aufzulösen beginnt und auf wenige Arten zusammengeschrumpft nur noch in isolierten Kolonien längs der Südwestküste des Schwarzen Meeres auftritt. Bemerkenswert ist auch das von der Südgrenze der zusammenhängenden Verbreitung weit getrennte Vorkommen des Heidekrautes (*Calluna vulgaris*) in Thrakien, dem sich ein weiteres disloziertes Areal im Pontus anschließt; es handelt sich hier um deutliche Reliktareale, in deren Isolierung sich die heutige starke Kontinentalität des Klimas der nördlichen Balkanländer ausdrückt.

Auch die Auwälder [vgl. N. STOJANOFF, Der Longos-Wald in Bulgarien, Englers Bot. Jb. **62**, 502 bis 523 (1929)] an der Westküste des Schwarzen Meeres südlich der Donaumündung besitzen eine eigene Prägung; der größte zusammenhängende Komplex dieser Art ist an der Kamtschija erhalten, kleinere Bestände finden sich auch noch am Unterlaufe der aus dem Strandscha-Gebirge herkommenden Wasserläufe. Sie zeichnen sich durch einen großen Reichtum an Holzgewächsen und deren ungemein üppiges Wachstum aus; die Hauptrolle spielen Eichen- und Eschenarten (unter diesen die endemische *Fraxinus Pallisae*, verwandt mit einer im Kaukasus und seinen östlichen Ausläufern beheimateten Art) und teilweise auch Ulmen (*Ulmus campestris*). Auch Lianen sind in verhältnismäßig großer Fülle vorhanden, unter ihnen die wilde Weinrebe (*Vitis silvestris*), Efeu, Hopfen, Waldrebe und die typisch südeuxinische *Smilax excelsa*. Die orientalische Buche, die einen zweifellos relikten Standort auch noch in der Dobrudscha besitzt, verhält sich auf der Balkanhalbinsel nach STOJANOFF wie eine ausgesprochen biologisch-konservative Art; sie zeigt keine Tendenz zur Erweiterung des Areals und bildet meist nur einen kümmerlichen Jungwuchs, während die Rotbuche (*Fagus silvatica*) in den Gebirgen der Balkanhalbinsel noch im Vordringen nach aufwärts begriffen zu sein scheint. Kurz hingewiesen sei schließlich auch noch auf die Arealbeziehungen einiger der obengenannten kolchischen Arten. Von *Rhododendron ponticum* ist es bekannt, daß es mehrfach in interglazialen Ablagerungen der Alpen (Höttinger Breccie!) gefunden worden ist und in einer nicht sehr bedeutend abweichenden Rasse noch gegenwärtig im Südwesten der Iberischen Halbinsel vorkommt. *Prunus Laurocerasus* hat seine nächstverwandte Art in *P. lusitanica* Portugals und der Kanaren, *Vaccinium arctostaphylos* in *V. maderense* auf Madeira, *Smilax excelsa* wird für Marokko und die Azoren angegeben; auch in dem stark zerstückelten Areal des Buchsbaums, der allerdings dem Strandschawalde fehlt, kommen ähnliche Beziehungen wie auch solche zu der illyrisch-insubrischen Flora zum Ausdruck, aus denen hervorgeht, daß der kolchische Wald nichts mit der heutigen Mittelmeerflora zu tun hat, sondern noch eine ziemlich weitgehende Ähnlichkeit mit Formationen bewahrt hat, die in der Tertiärzeit unter der Herrschaft eines günstigeren Klimas eine weitere und mehr zusammenhängende Verbreitung besaßen.

Die Moorgebiete des europäischen Rußlands. N. J. KATZ, dem wir schon mehrere wichtige Beiträge zur Kenntnis der russischen Moore verdanken, hat in einer kürzlich erschienenen Arbeit [Zur Kenntnis der oligotrophen Moortypen des europäischen Rußlands. Beih. z. Bot. Zbl. II **47**, 177—210 (1930)] eine zusammenfassende Übersicht über die Ergebnisse der neueren russischen Moorforschungen gegeben, in der er zunächst eine Charakteristik der oligotrophen Moortypen Nord- und Mittelrußlands entwickelt und im Anschluß daran eine Einteilung in 9 Moorgebiete vornimmt und deren zonale Anordnung erläutert. Es ist daraus zunächst zu entnehmen, daß die Mannigfaltigkeit der Moortypen eine wesentlich größere ist, als sie z. B. von OSVALD bei seinem Versuch einer Klassifikation der Moorgebiete Europas vorausgesetzt wurde. Allein an oligotrophen Sphagnummooren werden drei Haupttypen unterschieden, von denen der erste durch den Besitz von an Zwergstrauchgesellschaften reichen Assoziationskomplexen gekennzeichnet ist, der zweite daneben im zentralen Teil auch an Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) reiche Komplexe aufweist und der dritte endlich durch den Besitz von Schlenkenkomplexen im zentralen Teil ausgezeichnet ist. Dazu kommen neben einigen weniger bedeutungsvollen Typen, wie den oligotrophen flechtenreichen Mooren u. a., noch die Aapamoore und die Torfhügelmoore, letztere ein ausgesprochen arktischer Typus, welcher dem Wald-Tundragebiet mit einer ewigen Bodeneisschicht eigen ist, und auch die ersteren vorwiegend nördlich in Nord-Karelien und im Petschora-Gebiet verbreitet; als für die Aapamoore charakteristisch werden vor allem angeführt die konkave Oberflächenform, das im Vergleich mit dem der Stränge bedeutend größere Areal der Schlenken und das häufige Vorkommen nackter, einer Moosdecke entbehrender Schlenken. Unterschiede in der Verteilung dieser verschiedenen Moortypen machen sich sowohl in der Nord-Süd- wie auch in geringerem Grade in der West-Ost-Richtung geltend; sie hängen in erster Linie mit der Verschiedenheit des Klimas, vorzugsweise der Temperatur und der Niederschlagsmenge zusammen, von denen die Energie des peripheren und des Höhenwachstums eines Moores und damit seine Dimensionen und die Gestaltung seiner Oberfläche abhängen, welche ihrerseits wieder für die Wasserbilanz der Moore und damit die Verbreitung der Vegetation auf ihrer Oberfläche bestimmend sind. Daneben spielen auch Unterschiede in der geographischen Verbreitung der dominierenden und assoziationsbildenden Arten herein, indem z. B. die Zwergbirke (*Betula nana*) im Norden vorherrscht, im Süden dagegen fehlt, der Zwerglorbeer (*Chamaedaphne calycu-*

lata) in den östlichen, mehr kontinentalen Teilen die wichtigste dominierende Art der Zwergstrauchmoore darstellt, im Zentrum und Westen (Poljesje) dagegen der Porst (*Ledum palustre*), ebenso auch die verschiedenen *Sphagnum*-Arten als Assoziationsbildner in den verschiedenen Gebieten eine ungleiche Rolle spielen u. dgl. m. Im ganzen ordnen sich so die 9 Moorgebiete zu 4 Zonen an, einer polaren (Kola und der nordöstliche Teil des Gouv. Archangelsk), einer nördlichen (Nord-Karelien und Petschora-Gebiet), einer mittleren und einer südlichen, welch letzterer mit der südlichen Grenze des Vorkommens oligotropher Sphagnummoore abschließt. Alle diese Zonen zeigen dann in sich wieder eine Abstufung von Osten nach Westen; im Poljesje-Gebiet z. B. stellen Zwergstrauch-*Eriophorum*-Moore oder reine *Eriophorum*-Moore den wichtigsten und dauerhaftesten Typus dar, während im Osten der südlichen Zone Moore mit Komplexen der Zwergstrauchassoziationen vorherrschen; die mittlere Zone zeigt im Westen eine zunehmende Annäherung an den Typus der eigentlichen Hochmoore, während in Mittelrußland die großen oligotrophen Moore zum Typus mit Schlenkenkomplexen, teilweise auch zum Zwergstrauchtypus gehören; in der nördlichen Zone herrschen im Osten allgemein die Aapamoore vor, auf deren Bulten und Strängen den Zwergstrauchgesellschaften eine viel größere Bedeutung zukommt als den *Eriophorum vaginatum*-Assoziationen, während im Westen auch letztere noch eine ziemlich wichtige Rolle spielen und ebenso auch die Flechten, welch letztere dagegen in den kontinentalen Teilen ganz zurücktreten.

Zur Frage der zentralalpinen eiszeitlichen Refugien. In einem früheren Sammelbericht [vgl. diese Z. 13, 791 bis 796, 809—814 (1925)] wurde auch die Arbeit von M. NOACK besprochen, der zu dem Schluß gelangt war, daß die disjunkten Areale der seltenen nordischen Arten in den Alpen und der Reichtum der inneren Alpenketten an solchen durch die Annahme eines Überdauerns der letzten Eiszeit seitens der betreffenden Arten in zentralalpinen Refugien nicht befriedigend erklärt werden könne, sondern daß allein die Annahme einer am Ende der Glazialperiode erfolgten, hauptsächlich durch die Täler vermittelten Einwanderung von den Randgebieten her einen Schlüssel zur Erklärung der Verteilung der Arten zu geben vermöge. Eine Übertragung dieses Schlusses auch auf die in der N.schen. Arbeit nicht behandelten, nicht dem Norden entstammenden Alpenpflanzen, deren Verbreitungserscheinungen zum großen Teil ähnliche sind, liegt nahe und ist auch von manchen Autoren ausgesprochen worden. Demgegenüber hat BROCKMANN-JEROSCH auch in seiner in SCHRÖTERS „Pflanzenleben der Alpen" (2. Aufl., 1926) gelieferten Darstellung von der Geschichte der Schweizerischen Alpenflora an seiner Überdauerungshypothese festgehalten und diese ähnlich wie schon früher besonders mit den im Berninagebiet und überhaupt im Oberengadin vorliegenden Verhältnissen begründet, das einen viel größeren Reichtum an alpinen Arten aufweist als das südlich angrenzende Puschlav, ein Verhalten, das nach B.-J. nicht verständlich sein würde, wenn diese Arten die Eiszeit nur in den südlichen Randketten überdauert hätten, von wo aus sie das Puschlav hätten durchwandern müssen, und das seine einfachste Erklärung in der Vorstellung finde, daß diese Arten die Würmeiszeit im Oberengadin selbst an orographisch schneefreien Orten überdauert hätten.

In einer interessanten Studie [in Verh. Naturf.-Ges., Basel 39, 167—175 (1929)] hat W. VISCHER diese Frage wieder aufgegriffen. Seine Überlegungen gehen davon aus, daß für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit des Überdauerns nicht die große Zahl der im Berninagebiet und im Oberengadin vorkommenden, im Puschlav fehlenden oder in diesem höchstens unmittelbar an der Grenze gegen das Oberengadin vorkommenden Arten als ausschlaggebend gelten könne, sondern in erster Linie die Frage gestellt werden müsse, ob die in Betracht kommenden Arten nach ihren biologischen Bedürfnissen und Fähigkeiten überhaupt zu einem Ausdauern hoch über der eiszeitlichen Schneegrenze befähigt waren; da letztere nach PENCK und BRÜCKNER etwa bei 1700—1800 m lag, so befand sich die Oberfläche der Gletscher noch rund 900 m über der klimatischen Schneegrenze, und nur über den Gletschern war ein Pflanzenwuchs möglich. Ein Überdauern in solcher Höhe über der klimatischen Schneegrenze kann nur von den allerwiderstandsfähigsten Arten erwartet werden, und so ergibt sich, daß rund $^2/_3$ der überhaupt in Betracht kommenden Arten von vornherein ausscheiden, weil sie bisher niemals in der Schneestufe der Alpen gefunden worden sind. Von den 23 übrigbleibenden Arten steigen nur 7 mehr als 200 m über die Schneegrenze empor, und dies sind zumeist ziemlich verbreitete Arten, bei denen das Fehlen im Puschlav auffälliger ist als ihr Vorkommen im Berninagebiet. Es ist also zwar für einen kleinen Teil der Arten die Möglichkeit des Überdauerns nicht ausgeschlossen, in der Hauptsache kann aber der floristische Reichtum des Oberengadins erst durch Wanderungen beim Rückzuge der Gletscher entstanden sein. Wesentlich ist dabei auch der Hinweis, daß sich unter den für das Überdauern nicht in Betracht kommenden Arten eine Anzahl nordischer Sumpfpflanzen befindet, für die geeignete flache Stellen zur Besiedelung innerhalb der Schneestufe fehlen, und auch eine Anzahl xerothermer Arten, deren heutige Fundorte ebenfalls unter dem ehemaligen Gletscherniveau liegen und deren Vorhandensein geradezu als ein Beweis dafür angesehen werden kann, daß die zentralalpinen Teile sehr wohl nach dem Ende der Eiszeit von manchen Arten erreicht wurden, die heute der Umgebung dieser Gebiete fehlen. Ähnliches gilt von einer Anzahl montaner Arten, die im Engadin vorkommen, dem Puschlav dagegen abgehen und für die auch nur eine postglaziale Einwanderung in Frage kommt.

Schließlich weist V. auch mit Recht darauf hin, daß das Puschlav viel zu klein ist, um aus dem Nichtvorhandensein einer Pflanze in demselben weitreichende Schlüsse ziehen zu können; für Pflanzen, die zu sprungweiser Ausbreitung befähigt sind, bildet es kein absolutes Hindernis, und andere mögen in postglazialer Zeit einmal vorhanden gewesen, später aber infolge von Änderungen des Klimas oder im Zusammenhang mit Sukzessionserscheinungen und wegen Mangels an geeigneten Standorten wieder ausgestorben sein. Auch besitzt das Puschlav einige seltene Arten, die nur von Süden dorthin gelangt sein können und die das Oberengadin nicht erreicht haben. Damit entfällt also, nachdem die Annahme einer Bewaldung des nicht vergletscherten Teiles Mitteleuropas auf dem Höhepunkte der Eiszeit durch die Ergebnisse der pollenanalytischen Forschung als unzutreffend erwiesen ist, und nachdem ferner GAMS die Irrigkeit der BROCKMANNschen Vorstellungen über die Entstehung der Dryasflora gezeigt hat, ein weiterer wichtiger Stein aus dem Beweisgebäude, durch das seinerzeit B.-J. die Vorstellung eines ausgeprägt ozeanischen Charakters des eiszeitlichen Klimas zu stützen versuchte, eine Theorie, von der man sagen muß, daß sie ebenso wie die Ablehnung der Annahme postglazialer Klimaänderungen unmöglich zu einer befriedigenden Deutung der florenentwicklungsgeschichtlichen Fragen zu führen vermag. W. WANGERIN.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.